

VŠB — Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra konstrukcí

Návrh konstrukce dřevěného sila
Design of the wooden silo structure

Student: Bc. Matej Horňák

Vedoucí diplomové práce: Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.

Ostrava 2016

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 30. 11. 2016

.....

podpis studenta

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Matej Horňák**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T037 Konstrukce staveb

Téma: **Návrh konstrukce dřevěného sila**
Design of the wooden silo structure

Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

- 1) Rešerše historických a současných konstrukčních systému dřevěných sil.
- 2) Dispoziční návrh dřevěného sila.
- 3) Výpočet zatížení a vnitřních sil.
- 4) Návrh a posouzení základních prvků a spojů dřevěného sila.
- 5) Výkresová dokumentace.

Seznam doporučené odborné literatury:

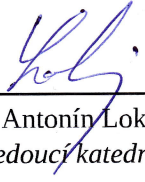
- 1) ČSN EN 1995-1-1: Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: Obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- 2) ČSN 73 1702: Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí - Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- 3) ČSN EN 1990: Eurokód: Zásady navrhování konstrukcí.
- 4) ČSN EN 1991-1-1: Eurokód 1: Zatížení konstrukcí – Část 1-1: Obecná zatížení – Objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb.
- 5) ČSN EN 1993-1-1 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.
- 6) ČSN EN 1993-4-4 Eurokód 3: Navrhování ocelových konstrukcí – Část 4-1: Zásobníky.
- 7) Koželouh, B., Dřevěné konstrukce podle EUROKODU 5. STEP 2. Navrhování detailů a nosných systémů.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.**

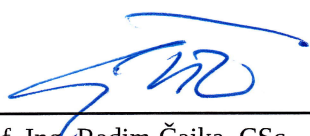
Datum zadání: 29.02.2016

Datum odevzdání: 30.11.2016



doc. Ing. Antonín Lokaj, Ph.D.
vedoucí katedry





prof. Ing. Radim Čajka, CSc.
děkan fakulty

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 30. 11. 2016

.....

podpis studenta

Anotace

HORŇÁK, Matej. *Návrh konstrukce dřevěného sila: diplomová práce*. Ostrava: VŠB — Technická univerzita Ostrava, Fakulta stavební, 2016, 170 stran. Vedoucí práce Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.

Náplní diplomové práce je statický návrh a posudek základních prvků a spojů štíhlého dřevěného sila s mělkou výsypkou. Silo je lokalizováno v průmyslovém areálu na výrobu lepených vrstvených hranolů, v blízkosti vodního díla Slezská Harta. V rámci doplňkové výroby dřevních pelet, jakožto odpadního produktu dřevozpracující výroby, je navrženo nadzemní silo s hmotností skladovaného materiálu do sta tun. Diplomová práce se zabývá statickým posouzením jednotlivých částí a spojů dřevěného sila: dvouplášťového zásobníku tvaru válce, zastřešením, výsypkou a spodní nosnou podstavou včetně založení na železobetonových patkách. V úvodu se práce zaměřuje na seznámení s historií sil, především dřevěných konstrukčních systémů. Součástí přílohy je výkresová dokumentace.

Klíčová slova

Silo, tenkostěnný kruhový zásobník, kuželovitá výsypka, dřevo, dřevěné silo, historie, konstrukce, zatížení, peleta.

Annotation

HORŇÁK, Matej. *Design of the wooden silo structure: diploma work*. Ostrava: VŠB — Technical university of Ostrava, Faculty of Civil Engineering, 2016. 150 p. Thesis supervisor Ing. Kristýna Vavrušová, Ph.D.

The content of the thesis is static design and check the basic elements and connections slender wooden silo with a shallow hopper. Silo is located in the industrial complex for production of glued laminated beams, near the water dam Silesian Harta. As part of the additional production of wood pellets as a waste product of wood production, it is designed aboveground silo with a mass of material stored to one hundred tons. The thesis deals with static assessment of individual parts and joints of wooden silos: a double-walled cylinder-shaped container, roofing, hopper and lower support base, including the establishment of reinforced concrete footings. At the beginning of the work focuses on the introduction to the history of silos, mainly timber construction systems. As a part of the annex are the drawings.

Key words

Silo, thin-walled circular silo, conical hopper, wood, wooden silo, history, construction, loading, pellets.

Seznam použitých zkratek a symbolů

Písmena velké latinské abecedy

A	plocha průřezu [mm ²]
A _{ef,90}	kontaktní plocha v tlaku kolmo k vláknům [mm ²]
A _{čep}	plocha čepu [mm ²]
A _d	otlačovaná plocha dřeva [mm ²]
A _{osl.}	plocha oslabeného průřezu [mm ²]
A _w	účinná plocha svarového obrazce [mm ²]
BSH	německé označení lepeného lamelového dřeva
C _e	součinitel expozice
C _h	součinitel vyprazdňování pro vodorovný tlak
C _{op}	referenční součinitel místního zatížení
C _t	tepelný součinitel
C _w	součinitel vyprazdňování pro tření o stěnu
CLT	cross laminated timber
E _{0,05}	hodnota 5% kvantilu modulu pružnosti [MPa]
E _{0,mean}	průměrná hodnota modulu pružnosti rovnoběžně s vlákny [MPa]
E _{90,mean}	průměrná hodnota modulu pružnosti kolmo k vláknům [MPa]
E _{cm}	sečnový modul pružnosti betonu
F _f	charakteristická hodnota poměru tlaků ve výsypce
F _{v,Rk}	charakteristická únosnost spojovacího prostředku [kN]
F _{v,Rd}	návrhová únosnost spojovacího prostředku [kN]
F _{ax,Ed}	návrhová osová síla na spojovací prostředek [kN]
F _{ax,Rd}	návrh. hod. osově únosnosti spojovacího prostředku na vytažení [kN]

$G_{k,j}$	charakteristická hodnota stálého zatížení
G_{mean}	průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku [MPa]
GL32h	třída pevnosti lepeného lamelového dřeva
H	nadmořská výška staveniště
I_y	moment setrvačnosti k ose y [mm ⁴]
I_v	intenzita turbulence [mm ⁴]
I_z	moment setrvačnosti k ose z [mm ⁴]
K_m	poměr bočních tlaků
KVH	délkově napojované řezivo
L	délka spojovacího prostředku [mm]
LLD	lepené lamelové dřevo
$L_{cr,y}$	vzpěrná délka pro vybočení v rovině prvku [mm]
$L_{cr,z}$	vzpěrná délka pro vybočení z roviny prvku [mm]
M_{Ed}	návrhová hodnota ohybového momentu [kNm]
$M_{Ed,y}$	návrhová hodnota ohybového momentu k ose „y“ [kNm]
$M_{Ed,z}$	návrhová hodnota ohybového momentu k ose „z“ [kNm]
$M_{Ed,přísl.}$	příslušná hodnota ohybového momentu v konkrétní části prutu [kNm]
$M_{Ed,max}$	max. hodnota ohybového momentu v konkrétní části prutu [kNm]
$M_{y,Rk}$	plastický moment únosnosti [Nmm]
MSP	mezní stav použitelnosti
MSÚ	mezní stav únosnosti
N_{Ed}	návrhová hodnota normálové síly [kN]
$N_{Ed,přísl.}$	příslušná hodnota normálové síly [kN]
$N_{Ed,max}$	maximální hodnota normálové síly [kN]
$Q_{k,1}$	charakteristická hodnota proměnného zatížení
$Q_{k,H}$	charakteristická hodnota plošného zatížení ploch typu „H“

R_e	reynoldsovo číslo
R_x	vodorovná reakce ve směru „x“ [kN]
R_y	vodorovná reakce ve směru „y“ [kN]
R_z	svislá reakce ve směru „z“ [kN]
RD	rostlé dřevo
S	součinitel tvaru výsyvky
V_c	objem zásobníku [m ³]
V_h	objem výsyvky [m ³]
V_{tp}	objem navršeného materiálu [m ³]
V_{Ed}	návrhová hodnota posouvající síly [kN]
$V_{přisl.}$	příslušná hodnota posouvající síly v konkrétní části prutu [kN]
W_y	průřezový modul k ose y [mm ³]
W_z	průřezový modul k ose z [mm ³]
W_0	průřezový modul čepu [mm ³]
$Y_{j(zi)}$	variační funkce hloubky Janssenova tlaku
$Z_{o,II}$	parametr drsnosti pro II kategorii terénu

Písmena malé latinské abecedy

a	účinná výška svaru [mm]
a ₁	rozteč spojovacích prostředků rovnoběžně s vlákny [mm]
a ₂	rozteč spojovacích prostředků kolmo k vláknům [mm]
a _{3,c}	vzdálenost spojovacího prostředku od nezatíženého konce [mm]
a _{3,t}	vzdálenost spojovacího prostředku od zatíženého konce [mm]
a _{4,c}	vzdálenost spojovacího prostředku od nezatíženého okraje [mm]
a _{4,t}	vzdálenost spojovacího prostředku od zatíženého okraje [mm]
b	šířka průřezu, šířka objektu [mm]
b _i	šířka základny trojúhelníkového segmentu střechy
b _š	šířka střechy
b _{ef}	účinná šířka průřezu [mm]
c ₀	součinitel ortografie
c _{dir}	součinitel směru větru
c _{pe}	součinitel vnějšího tlaku
c _{pi}	součinitel vnitřního tlaku
c _{p0,h}	součinitel tlaku na závětrné straně
c _{p0,min}	hodnota součinitele minimálního tlaku
c _{p0,max}	hodnota součinitele maximálního tlaku
c _{seaso n}	součinitel ročního období
c _f	součinitel síly větru
c _s c _d	součinitel konstrukce
c _r	součinitel drsnosti terénu
d	jmenovitý průměr spojovacího prostředku [mm]
d ₀	průměr otvoru [mm]
d _c	vnitřní průměr zásobníku
e	excentricita [mm]

e_1	vzdálenost spoj. prostředku od okraje plechu ve směru zatížení [mm]
e_2	vzdálenost spoj. prostředku od okraje plechu kolmo na směr zat. [mm]
f_{ck}	charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku [MPa]
f_{cd}	návrhová válcová pevnost betonu v tlaku [MPa]
$f_{ctk0,05}$	charakteristická pevnost betonu v tahu [MPa]
f_{ctm}	průměrná hodnota pevnosti betonu v dostředném tahu
$f_{h,k}$	charakteristická pevnost v otlačení [MPa]
$f_{m,k}$	charakteristická pevnost v ohybu [MPa]
$f_{m,d}$	návrhová pevnost v ohybu [MPa]
$f_{t,0,k}$	charakteristická pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{t,0,d}$	návrhová pevnost v tahu rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{c,0,k}$	charakteristická pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{c,0,d}$	návrhová pevnost v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]
$f_{c,90,k}$	charakteristická pevnost v tlaku kolmo k vláknům [MPa]
$f_{c,90,d}$	návrhová pevnost v tlaku kolmo k vláknům [MPa]
$f_{v,k}$	charakteristická pevnost ve smyku [MPa]
$f_{v,d}$	návrhová pevnost ve smyku [MPa]
f_u	mez pevnosti oceli [MPa]
f_y	mez kluzu oceli [MPa]
g_k	charakteristická hodnota stálého zatížení
g_d	návrhová hodnota stálého zatížení
h	výška průřezu [mm]
h_c	výška zásobníku [m]
h_0	hloubka základny navršeného materiálu pod ekvivalentním povrchem
h_b	celk. výška zásobníku od vrcholu výsypky k ekvivalentnímu povrchu
h_h	výška výsypky od vrcholu k přechodu [m]
h_{tp}	výška navršeného materiálu [m]
i_y	poloměr setrvačnosti k ose y [mm]
i_z	poloměr setrvačnosti k ose z [mm]

k_{cr}	redukční součinitel trhlin pro únosnost ve smyku
$k_{c,y}$	součinitel vzpěrnosti k ose y
$k_{c,z}$	součinitel vzpěrnosti k ose z
k_{def}	součinitel dotvarování
k_m	součinitel turbulence
k_l	součinitel vlivu nehomogenit a redistribuce napětí
k_m	součinitel zohledňující redistribuci ohybových napětí v průřezu
k_{mod}	modifikační součinitel zohledňující vliv trvání zatížení a vlhkosti
k_r	součinitel terénu
k_{shape}	součinitel závislý na tvaru průřezu
k_y	součinitel vzpěrnosti
k_z	součinitel vzpěrnosti
l	délka prvku [mm]
l_b	délka uložení [mm]
l_{ef}	světlá délka rozpětí [mm]
n	počet spojovacích prostředků
n_1	počet spojovacích prostředků v 1 řadě
m	počet řad spojovacích prostředků
p_1	přesah střechy
p_1	vzdálenost mezi spoj. prostředky ve směru zatížení [mm]
p_2	vzdálenost mezi spoj. prostředky kolmo na směr zatížení [mm]
p_{h0}	asymptotický vodorovný tlak
$p_{hf(z_i)}$	vodorovný tlak od sypké náplně [kPa]
$p_{wf(z_i)}$	smykové napětí od sypké náplně [kPa]
$p_{vf(z_i)}$	svislý tlak od sypké náplně [kPa]

q_d	návrhová hodnota zatížení větrem [kPa]
q_k	charakteristická hodnota užitečného zatížení [kN/m]
$q_{k,H}$	charakteristická hodnota lokálního zatížení ploch typu „H“
q_p	charakteristický maximální dynamický tlak [kN/m ²]
s_k	charakteristická hodnota zatížení sněhem [kN/m]
t_1	hloubka vniku spojovacího prostředku [mm]
t_p	tloušťka plechu [mm]
$t_{p,1}$	tloušťka čepového plechu [mm]
t_l	tloušťka prvku [mm]
u_{inst}	okamžitý vodorovný průhyb [mm]
u_{fin}	finální vodorovný průhyb [mm]
$v_{b,0}$	výchozí základní rychlost větru [m/s]
v_i	výška trojúhelníkového segmentu jehlanu střechy [m]
v_m	střední rychlost větru [m/s]
w_k	výsledný tlak větru [kN/m ²]
w_{inst}	okamžitý svislý průhyb [mm]
w_{fin}	finální svislý průhyb [mm]
w_t	Průřezový modul v kroucení [mm ³]
$z=h$	výška objektu [m]
z_0	parametr drsnosti terénu
z_{min}	minimální výška [m]

Písmena malé řecké abecedy

α	úhel mezi silou a směrem vláken [°]
α	sklon střechy
α_0	úhel nulového tlaku
α_A	úhel oddělení proudu
α_{\min}	úhel minimálního tlaku
β	bezrozměrný součinitel kroucení
β	úhel odklonu výsypky od svislice
β_c	součinitel přímosti
β_w	korekční součinitel pro svařování oceli
γ	sypná tíha
γ_c	dílčí součinitel spolehlivosti betonu
γ_M	dílčí součinitel vlastností materiálu
γ_s	dílčí součinitel betonářské výztuže
γ_G	součinitel bezpečnosti pro stálé zatížení
γ_Q	součinitel bezpečnosti pro proměnná zatížení
$\gamma_{Q,i}$	dílčí součinitel proměnného zatížení
λ_y	štíhlostní poměr k ose „y“
λ_z	štíhlostní poměr k ose „z“
$\lambda_{\text{rel},y}$	poměrný štíhlostní poměr k ose „y“
$\lambda_{\text{rel},z}$	poměrný štíhlostní poměr k ose „z“
$\mu_1 (\alpha)$	tvarový součinitel zatížení sněhem
μ_{heff}	součinitel mobilizovaného (účinného) tření
μ_m	součinitel tření materiálu o stěnu
ρ_k	charakteristická hustota
ρ_m	sypná hmotnost
ρ_{mean}	průměrná hodnota hustoty

	provozní napětí
$\sigma_{m,y,d}$	návrhové napětí v ohybu k ose „y“ [MPa]
$\sigma_{m,z,d}$	návrhové napětí v ohybu k ose „z“ [MPa]
$\sigma_{c,0,d}$	návrhové napětí v tlaku rovnoběžně s vlákny [MPa]
$\sigma_{c,90,d}$	návrhové napětí v tlaku kolmo k vláknům [MPa]
$\sigma_{t,0,d}$	návrhové napětí v tau rovnoběžně s vlákny [MPa]
σ_{\perp}	napětí ve svaru kolmo na jeho délku [MPa]
σ_v	výsledné napětí ve svaru [MPa]
φ_{τ}	směr natočení čepů
$\tau_{tor,d}$	návrhové napětí ve smyku od kroucení [MPa]
$\tau_{v,d}$	návrhové napětí ve smyku [MPa]
τ_{\parallel}	napětí ve svaru po délce [MPa]
τ_{\perp}	napětí ve svaru kolmo na jeho délku [MPa]
ϕ_{im}	úhel tření zrnitého materiálu o stěnu
$\psi_{0,i}$	součinitel pro kombinační hodnotu proměnného zatížení
ψ_{λ}	součinitel koncového efektu

Obsah

Úvod	1
1. Sila a zásobníky	2
1.1 Definice a etymologie	2
1.2 Členění dle ČSN EN 1991-4 [16]	2
2. Rešerše historických a současných dřevěných sil	3
2.1 Roubené silo	3
2.2 Štenýřové silo	4
2.3 Rámové silo	6
2.4 Kruhové dvouplášťové silo (King silo)	7
2.5 Stave Silo (dužinové silo)	8
2.6 Výhody a nevýhody historických dřevěných sil	11
2.7 Moderní dřevěná sila	11
3. Dispoziční návrh dřevěného sila	12
3.1 Základy	12
3.2 Patky (nadbetonávka)	13
3.3 Podstava	14
3.4 Tělo zásobníku	17
3.5 Fasáda (vnější plášť)	18
3.6 Výsypka	19
3.7 Zastřešení	20
3.8 Funkční části sila	21
3.9 Základní geometrie navrženého sila	23
4. Materiálové charakteristiky	24
4.1 Rostlé dřevo a lepené lamelové dřevo	24
4.2 CLT panely	25
4.3 Ocelové plechy	26
4.4 Beton	26
4.5 Betonářská ocel	26
4.6 Kolíky	27
4.7 Vrutky	28

5.	Stanovení zatížení	30
5.1	Stálé zatížení	30
5.2	Užitné zatížení	31
5.3	Zatížení sněhem	32
5.4	Zatížení větrem	32
5.5	Zatížení od náplně (pelety).....	36
6.	Návrh a posouzení prvků sila	41
6.1	Podstava	41
6.2	Tělo zásobníku	51
6.3	Výsypka.....	62
6.4	Zastřešení	71
6.5	Základ	83
7.	Návrh a posudek spojů.....	90
7.1	Podstava	90
7.2	Tělo zásobníku	123
7.3	Zastřešení	131
8.	Konstrukční a chemická ochrana dřeva.....	140
9.	Antikoroziční ochrana kovových částí	141
	Závěr	143
	Seznam obrázků a tabulek.....	144
	Seznam použitých pramenů	147
	Seznam příloh.....	154
	Použitý programový software	155

Úvod

Dřevo je organický obnovitelný zdroj materiálu a energie, který odedávna doprovází lidstvo ve všech jeho epochách. Nebýt lesů, potažmo dřeva, pra-člověk by nezabil mamuta oštěpem, nesestrojil první kolo a nepřežil v krutých podmínkách zimy. Starověký Řím by se nerozprostíral na většině území tehdy známého světa a Kryštof Kolumbus by nemohl plout přes Atlantský oceán. Avšak nekontrolovaná těžba a nehospodárné nakládání s lesními zdroji zapříčiní vážné ekologické problémy, které se týkají nás a ovlivní naše potomky (eroze, povodně, požáry, nedostatek vodních zdrojů, znečištění životního prostředí).

Koncepcí této práce je:

Smysluplné využití stávajících obnovitelných zdrojů dřeva jako konstrukčního materiálu na stavbu průmyslového objektu.

Podpora moderního systému vytápění, spalujícího odpad průmyslové výroby s vysokou účinností a bez uhlíkové stopy.

Minimalizace nákladů na přepravu pelet, de facto velkoobjemové skladování a transport přímo ke spotřebiteli.

S tímto sloganem se tato diplomová práce zúčastnila 4. Ročníku studentské soutěže „Stavby s vůní dřeva 2016“ pořádanou neziskovou organizací Nadace pro život a jejími partnery z oblasti dřevozpracujícího průmyslu, za podpory VŠB-TUO fakulty stavební.

1. Sila a zásobníky

1.1 Definice a etymologie

Anglický „silo“ neboli v češtině „zásobník“ je definován jako konstrukce pro skladování zrnitých (sypkých) materiálů. [16] Oxford Dictionaries definuje „silo“ jako: „Vysokou budovu či jámu na statku, určenou ke skladování zrnin.“ nebo „Jámu či jinak vzduchotěsnou konstrukci, v níž jsou zelené plodiny stlačeny a skladovány jako siláž. [33;41] Etymologický původ slova „silo“ není zcela zřejmý, do angličtiny bylo převzato zhruba v polovině 19. století ze španělštiny nebo francouzštiny. [34] Původem je však mnohem starší. Všeobecně se uvádí, že bylo převzato z latiny, která ho převzala ze starořečtiny. Původní definice však zůstala stejná, starořecké „σιρός – siros“ je definováno jako: „jáma pro skladování obilnin“. Českým ekvivalentem je slovo „obilnice“.

Silo je nadzemní nebo podzemní konstrukce symetrického půdorysu určená ke skladování. Základním půdorysným tvarem je kruh nebo pravidelný polygon (n-úhelník) [a].

Dle ČSN EN 1993-4-1 [18] výraz zásobník zahrnuje všechny tvary konstrukcí, ve kterých se skladují sypké materiály, které se jinak mohou nazývat kontejner, výsypka, nádrž nebo bunkr

1.2 Členění dle ČSN EN 1991-4 [16]

Zásobník je konstrukce určená pro skladování zrnitých materiálů. Tyto materiály lze skladovat v otevřených bunkrech, například kamenivo v betonárně. Nebo v uzavřených nádobách, například silo na suché maltové směsi.

„**Uzavřený zásobník**“ (retaining silo) je nádoba s **plochým** dnem, jehož převládajícím rozměrem je šířka nad výškou. $h_c/d_c \leq 0.4$ Geometrie uložení sypkého materiálu může být ovlivněna zastřešením, materiál se nemůže hromadit pod svým přirozeným úhlem vnitřního tření.

Pro „**nízký zásobník**“ platí, že výška a šířka jsou přibližně stejné. $h_c/d_c \leq 0,4 \leq 1,0$ Pokud není splněna podmínka spodní hranice 0,4, ale zásobník je opatřen výsypkou, pořád se jedná o nízký zásobník.

Výška „**středně štíhlého**“ zásobníku není větší než dvojnásobek šířky.
 $1.0 \leq h_c/d_c \leq 2.0$

„**Štíhlý zásobník**“ je alespoň dvakrát vyšší než širší. $h_c/d_c \geq 2.0$

„**Velmi štíhlý zásobník**“ je náchylný k samovolné segregaci skladovaných částic, což způsobuje nesouměrné tlaky a výstředný tok.

2. Rešerše historických a současných dřevěných sil

2.1 Roubené silo

První celo dřevěná nadzemní sila, byla budována od poloviny 19. Století. Konstrukčně se jednalo o jednoduché roubené objekty čtvercového půdorysu, založené na kamenných pásových základech s plochým dnem. Nosnou a současně výplňovou konstrukcí jsou v těchto silech svislé roubené zdi z vodorovných hranolů. Kvalitativním hlediskem roubených staveb je přesné opracování řeziva v příčných spojích a řešení tvaru zhlaví jednotlivých prvků. Vodorovné hranoly čtvercového či obdélníkového průřezu tvoří čtvercové či polygonální věnce. Vrstvením těchto věnců na vodorovném základu, vzniká uzavřený prostor libovolné výšky vhodný ke skladování. [9]

Obrázek 2.1 – Roubené silo



Základním předpokladem těsnosti sila bylo pečlivé zpracování kulatiny na hranoly (povaly), jakékoli netěsnosti totiž způsobovaly zatékání dešťové vody ke skladovanému materiálu nebo i degradaci samotné konstrukce. Zásadním problémem roubených sil bylo boulení zdí způsobené extrémními vodorovnými tlaky od skladovaného materiálu. Nejvíce tímto problémem trpěly sila s obdélníkovým a čtvercovým půdorysem, jelikož hranoly tvořící vodorovné věnce byly vodorovně namáhány dlouhodobým zatížením se

střídajícími se vlhkostními poměry. Tesařské spoje nároží zajišťovaly pouze kloubové napojení vodorovných hranolů se zanedbatelnou tuhostí. Hlavní roli hrálo zaroubení nároží jednoduchým přeplátováním, zajištěné dřevěným kolíkem. Kolík současně působil jako smykové spojení proti změně geometrie půdorysu. Vlastní tíha roubených zdí také hrála významnou roli při zajištění celistvosti pláště.

Životnost sila tohoto typu nebyla dlouhá. Pokud nebylo dřevo napuštěno a pravidelně každoročně ošetřováno došlo k degradaci vnitřního povrchu v důsledku kontaktu s agresivními látkami. Tradiční povrchovou úpravou proti agresivní siláži bylo vnitřní omítnutí dřevěných povrchů vápennou maltou. Tyto povrchy se musely každoročně obnovovat.

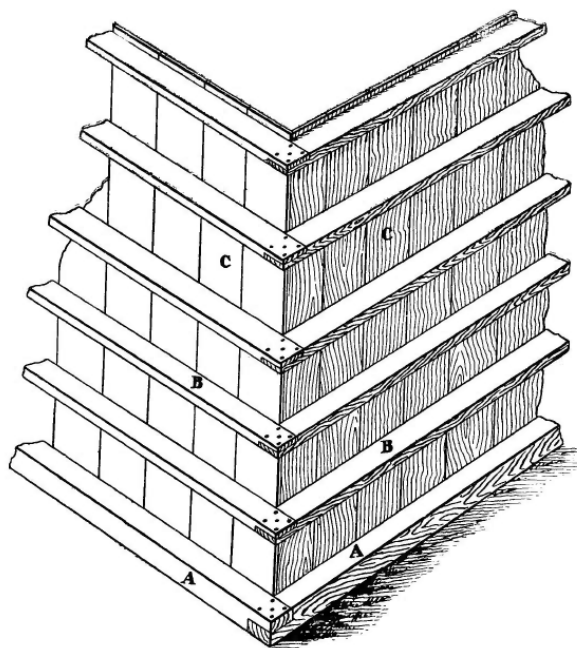
2.2 Štenýřové silo

Štenýřové silo vzniklo rukou v ruce s průmyslovou revolucí a rozvojem mlýnů. Jedná se o lehkou konstrukci štenýřového typu. Silo bylo součástí mlecí technologie, která byla umístěna uvnitř mlýna.

Rozsahově se jednalo o jednopodlažní nebo vícepodlažní štíhlé zásobníky s výsypkou, nahoře uzavřené. Půdorys těchto zásobníků byl vždy čtvercový nebo obdélníkový, což umožňovalo unifikovanou truhlářskou výrobu. Dle mletého sortimentu bylo více zásobníků sdruženo do skupiny.

Základním konstrukčním materiálem jsou prkna a vnitřní táhla. Opláštění a zároveň svislý nosný systém tvoří prkna spojovaná do desek pomocí rozšiřovacích spojů [9]. Desky jsou vzájemně spojeny v rozích pomocí zadrážkování do svislých hranolů. Vodorovné nosné prvky tvoří svlaky kolmé na prkna pláště. Svlačky jsou na koncích vzájemně spojeny

Obrázek 2.2.a – Konstrukce štenýřového sila



pomocí ozubů nebo jiných vhodných spojů typických pro truhlářské konstrukce.

Velice problematické je zajištění geometrické stability. Částečná tuhost spojení svlaků sice přispívá, je však kontraproduktivní, jelikož zde vznikají extrémní záporné momenty od částečného vetknutí (při zatížení od náplně) [16]. Tento nedostatek je však vyřešen vhodně umístěným táhlem mezi dva rovnoběžné svlaky. Jedno nebo více táhel umístěných vždy mezi dva rovnoběžné svlaky změní statické schéma svlakového věnce a rovnoměrně přerozdělí vnitřní síly.

Při menších půdorysech a nízkých zásobnících postačovala dvojice křížem orientovaných dřevěných táhel. Spojení táhla a svlaku bylo pomocí čepu s tažným klínem [9]. V ostatních případech je táhlo vždy železné, později ocelové. Přenos sil mezi táhlem a svlakem zajišťují velkoplošné podložky a matice. Matice s podložkou se umísťují i zevnitř zásobníku, aby zabránily zborcení stěn dovnitř a umožnily dotažení vnějších matic.

K zabezpečení dostatečné stability čtvercového (obdélníkového) půdorysu je tedy nutné zajistit dostatečně tuhé spojení svlaků v rozích a současně spoje nepřetěžovat zatížením od náplně. Celková tuhost a stabilita po výšce sila však byla zajištěna uložením na dřevěné trámy trámového stropu, které byly zazděny do nosného zdiva.

U zásobníků tohoto typu bylo nutné dbát na těsnost, aby se zabránilo přebytečné prašnosti, která je spojená s rizikem vznícení prachu. Lehká konstrukce dovozovala skladovat lehčí materiály (mouku) pouze v omezeném množství.

Na první pohled je vhodným řešením vysoká štíhlá konstrukce. Při další analýze však přináší mnohá úskalí. Vysoká štíhlost je spojená

Obrázek 2.2.b – Štenýřová výsypka



s výstředným tokem a vznikem místních zatížení [16]. Čtvercový (obdélníkový) půdorys způsobuje nerovnoměrné stlačení materiálu [16;39]. V souvislosti s vnitřními překážkami a třením o stěnu, mohou ve skladovaném materiálu vznikat klenby.

2.3 Rámové silo

Na obrázku 2.3 je znázorněna rámovaná konstrukce, částečně zapuštěná pod úroveň terénu. Značka „A“ znázorňuje kamenný základ stodoly, v níž je silo zabudováno. [41]

Obrázek 2.3 – Konstrukce rámového sila

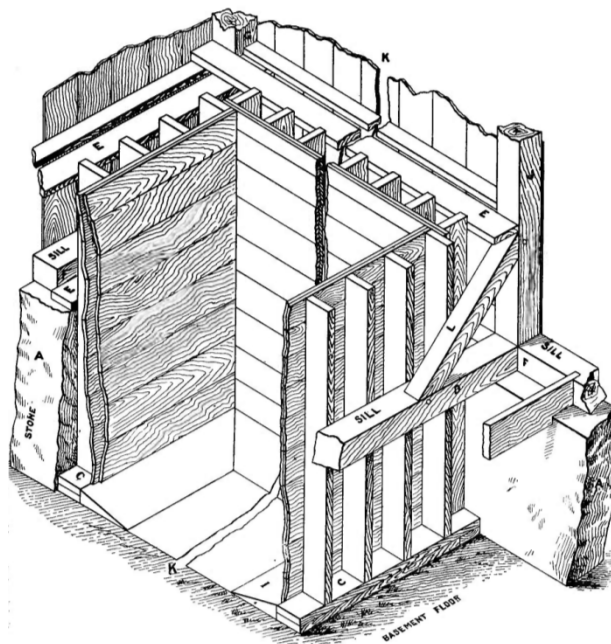


Fig. 5. Deep Silo in Bay of Barn.

2.4 Kruhové dvouplášťové silo (King silo)

Jak již název napovídá, jedná se o dvouplášťovou konstrukci s provětrávanou mezerou uvnitř. Silo vynalezl F. H. King, profesor zemědělství na University of Wisconsin v roce 1891. Ve svém výzkumu zemědělských sil určených ke skladování siláže identifikoval vady dosavadních staveb a navrhl vlastní kruhovou konstrukci (King silo), která odstranila problémy n-úhelníkových zásobníků. [39]

Svislou nosnou konstrukci tvoří sloupky tradičního amerického formátu two by four což odpovídá přibližně rozměrům 50x100mm. [41] Větší množství sloupků je rozmístěno v kruhu a vytváří

tak semi-kruhový půdorys, který se následně opláští. Sila tohoto typu jsou charakteristické většími průměry. Horizontální zatížení od náplně je přenášeno vhodně orientovaným vnitřním a vnějším opláštěním. Pro tento typ sil je charakteristické opláštění z prken ohýbaných nad párou.

Vnitřní plášť se navíc opatřoval pobytím tér papírem, případně druhou vrstvou prken, aby se zabránilo kontaktu siláže se dřevem. Prkna vnějšího pláště byly v zásadě přibíjeny se vzájemným přesahem, aby dešťová voda nestékala po dřevě, ale odkapávala [41].

Obrázek 2.4.a – Porucha dvouplášťového sila



Obrázek 2.4.b – Konstrukce dvouplášťového sila

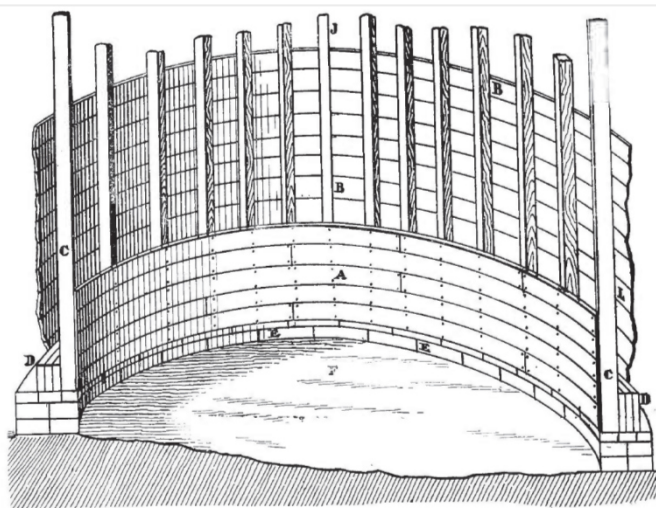


Fig. 12. Plan of Round Silo.

2.5 Stave Silo (dužinové silo)

První dužinové silo bylo vynalezeno na konci devatenáctého století v Americe. Jedná se o konstrukční systém vycházející z dobře známé a celosvětově rozšířené techniky výroby sudů. Princip konstrukce spočívá v těsném napojení prken vyskládaných do kruhu a následným zajištěním kruhového tvaru pomocí dodatečně předepnutých horizontálních obručí. [39]

Anglicky „stave“ neboli dužina je definována jako sloupek nebo prkno (svislý prvek), tvořící svislou plošnou konstrukci, či jakkoli dlouhé svislé prvky sražené do tvaru sudu, kbelíku nebo jiného předmětu určeného ke skladování. [32]

Kvalitativním hlediskem konstrukcí stažených ocelovými plechy je přesné zpracování předsušeného řeziva v příčných a podélných spojích a optimální vypnutí jednotlivých obručí. Aby byla nově zbudovaná konstrukce stabilní je zapotřebí vybrat vhodné vysušené dřevo. U drobných produktů jako jsou sudy je výběr omezen pouze na dřevo té nejvyšší kvality bez jakýchkoli imperfekcí. Případný minimální odklon vláken by měl za následek netěsnosti, nemluvě o suchách nebo vysušných trhlinách.

Dřevěná prkna je tedy nutné nechat pomalu vyschnout v hraních. Hráň musí být vhodně ochráněna proti povětrnostním vlivům a prkna musí být přitížena vrstvou masivnějšího řeziva. Po dosažení optimální vlhkosti se desky opět vytřídí a ty nejvhodnější se ohoblují. V minulosti bylo nutné vybírat prkna bez suků, ale

Obrázek 2.5.a – Konstrukce sudu



Obrázek 2.5.b – Silo s podstavou



moderní automatizované procesy defektní místa vyříznou a desky délkově spojí lepeným zubovým spojem. (Vzniklý polotovár se nazývá KVH). Desky se délkově nařezou a jejich hrany se zkosí, čímž vzniknou dužiny.

Nejjednodušším způsobem bylo příčné spojování dužin na tupý sraz a dodnes se takto vyrábí sudy. Avšak při větších poloměrech je zkosení hran minimální a na sraz spojené dužiny se mohou uvolnit, což by způsobilo kolaps konstrukce. Vhodným řešením je opracování podélných hran do tvaru půlkruhových zámků a pro ještě větší poloměry je nejlepší temování (sraz na pero a drážku) nebo perování (sraz na vložené pero a drážku.) [9] U nižších zásobníků jsou dužiny na celou výšku. Pro vyšší, štíhlejší zásobníky je nutné podélné napojení dužin. Běžným rozměrem dužin používaných na silech byl formát $2 \times 6 \text{ inch} \cong 5 \times 15 \text{ cm}$. [41]

V závislosti na prázdnění je dno sila ploché nebo s výsypkou. Založení dužinového sila s požadavkem na ploché dno se provádělo na kamenné pásové základy. Moderní variantou je železobetonový základ. Pokud je součástí sila výsypka je nutné jej umístit na podstavu. Dle typu skladovaného materiálu a požadavku na těsnost je důležité řešení kotvení zásobníku k základu. Toto místo také bývá nejcitlivější k degradaci dřeva. Dužiny bývaly ukládány přímo na beton. Celý obvod se poté zajistil pomocí několika ocelových úhelníků, tím byla zajištěna geometrie a bylo zaručeno, že se zásobník nemohl nadzvednout.

Jednotlivé dužiny se skládají v horizontálním směru vedle sebe podél předpřipravené kruhové šablony připevněné k lešení. Již od první dužiny se musí dbát, aby byly dokonale svislé a vzájemně těsně stažené. Stažení se provádí napínacími popruhy s háky. Když jsou dužiny naskládány po celém obvodu šablony, osadí se obruče. Většinou se jedná o pásovou ocel s napínacími šrouby, ale mohou to být i ocelové dráty. Šablona se vyjme a přesune výše, kde se bude pokračovat s podélným nadstavováním dužin, dokud se nedosáhne požadované výšky.

Obrázek 2.5.c – prstencový nosník



Doplňkovou konstrukcí uvnitř zásobníku je prstencový nosník. Jedná se o momentově tuhý výztužný nosník uvnitř sila. Slouží jako ztracená šablona během výstavby a brání zborcení dužin. Obruče vně zásobníku se mohou více dotáhnout a lépe utěsnit plášť.

Obrázek 2.5.d – Uvolněné obruče

Tuhost dužinových sil a zajištění geometrické stability závisí na kvalitním návrhu ale především na kvalitě provedení. Vzhledem k svislému zatížení je konstrukce poměrně redundantní a i přes větší počet degradovaných dužin bude silo pořád stát.

Opravdovým problémem je nežádoucí náklon zásobníku, způsobený ztrátou tahového napětí v obručích, které stahuje dužiny k sobě. Mezi dužinami poklesne kontaktní napětí a zmenší se velikost třecích sil. Plášť již není schopen přenášet vodorovná zatížení a celá konstrukce se nakloní. Samovolnému uvolnění je možno předcházet pravidelnou údržbou spočívající v kontrole dotažení napínacího mechanismu.



Na počátku dvacátého století byly dřevěné dužiny nahrazeny železobetonovými prefabrikáty. Výhodou byla větší odolnost proti agresivním látkám a podstatně vyšší životnost. Použitím dužin hrubších a tužších než bylo možné vyrobit ze dřeva, se dalo docílit většího průměru a vyšších, stabilnějších zásobníků. Tento nový trend byl předzvěstí železobetonových monolitických kontinuálně odlitých sil. [39]

2.6 Výhody a nevýhody historických dřevěných sil

Některé z výhod a nevýhod, rozhodujících při návrhu dřevěného sila.

VÝHODY

- + Materiál z místních zdrojů
- + Materiál z obnovitelných zdrojů
- + Snadné založení
- + Jednoduchá konstrukce
- + Možnost ručního výpočtu
- +

NEVÝHODY

- Nízká životnost
- Nutnost častější obnovy ochranných vrstev
- Skladování pouze při atmosférickém tlaku
- Vyšší součinitel tření vnitřních povrchů
- Pouze pro menší objemy

2.7 Moderní dřevěná sila

Kvůli svým nevýhodám upadla dřevěná sila téměř do zapomnění. Průmyslové aplikace si žádají specifické požadavky na chemickou odolnost včetně co nejdelší životnosti s minimálními nároky na údržbu. Zbývá tedy relativně malá oblast použití. Jako schůdné se nabízí skladování sypkých materiálů nenáročných na požadavky.

Posypová sůl je aktuálně nejčastěji skladovaným materiálem v silech s dřevěným pláštěm. Důvodem je koroze oceli a betonářské výztuže způsobená solným roztokem. Dřevo je v určité míře odolné vůči těmto solím. Švýcarsko, Rakousko a Německo hojně využívají dřevěná sila k uskladnění soli pro údržbu komunikací. Snadno identifikovatelné jsou produkty německé společnosti „HOLTEN GmbH & Co. KG“ a švýcarské společnosti „BL Silobau AG“. Konstrukční systém těchto sil je patentován [35], což do jisté míry brání jejich rozšíření. Objemově jsou tato sila schopná pojmout od pěti metrů krychlových až po jeden tisíc metrů krychlových soli.

Výrobní portfolio zásobníků zahrnuje: Sila až do 1000m³, mobilní sila, sila s dělicí přepážkou pro současné skladování posypového štěrku a soli, sila modulární a architektonická sila na zakázku.

Obrázek 2.7 – Konstrukce sila na sůl



3. Dispoziční návrh dřevěného sila

Navržené dřevěné silo je nadzemní rotačně symetrický objekt, určený k dočasnému skladování dřevních pelet před expedicí. V následujících kapitolách je rozdělen do jednotlivých dílčích částí, které jsou podrobně popsány. Užitný objem sila je 160 m^3 , což odpovídá cca 100 tunám dřevních pelet. Prvky vyskytující se v konstrukci jsou typové a v dalším textu jsou globálně specifikovány bez ohledu na přesné umístění v konstrukci.

Dále zmíněné rozměry, dimenze jsou pouze předběžné a budou navrženy a posouzeny v rámci kapitol návrhů a posudků.

Ilustrační vizualizace byly vytvořeny pro účely předběžného návrhu a jako příprava statické analýzy.

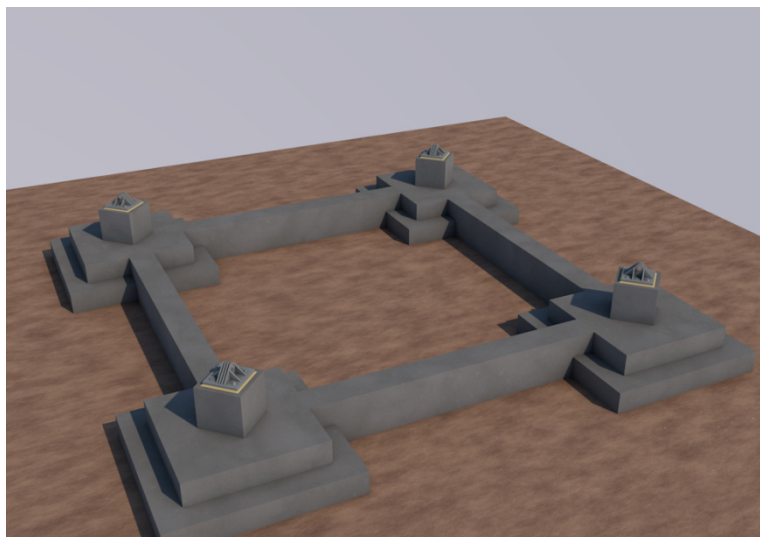
Projektovým počátkem ($\pm 0,000$) je výška osy čepového ložiska, která rozděluje objekt na nadzemní část a založení.

Navrhovaná životnost sila je 50LET, třída konstrukce S4.

3.1 Základy

Konstrukce Dřevěného sila, dle ČSN EN 1997-1 spadá do 2. geotechnické kategorie. [20] Založení je navrženo plošné, obvyklého typu. Základ je tvořen čtveřicí železobetonových dvoustupňových patek s nadbetonávkou (3. stupeň). Každá patka je čtvercového půdorysu. Jejich vzájemná poloha je zajištěna čtveřicí železobetonových táhel. Výška prvního a druhého stupně je 0,4 metru.

Obrázek 3.1 – Pohled na základové konstrukce



(ilustrační vizualizace)

Hloubka založení a plocha základové spáry závisí na výsledcích geotechnického průzkumu. (Geotechnický průzkum není předmětem řešení)

této diplomové práce.) Dle místních poměrů (cca 0,2 metru nezhuťněné navážky) je hloubka základové spáry navržena 1,2 metru pod úrovní stávajícího terénu (-1,7 metru od projektového počátku). Únosnost základové půdy je $\sigma_d = 0,2$ MPa navržená plocha patek je $3,0 \times 3,0 = 9,0 \text{ m}^2$.

Železobetonová táhla spojující základové patky, slouží k zajištění geometrie základu a minimalizaci nerovnoměrného sedání podloží.

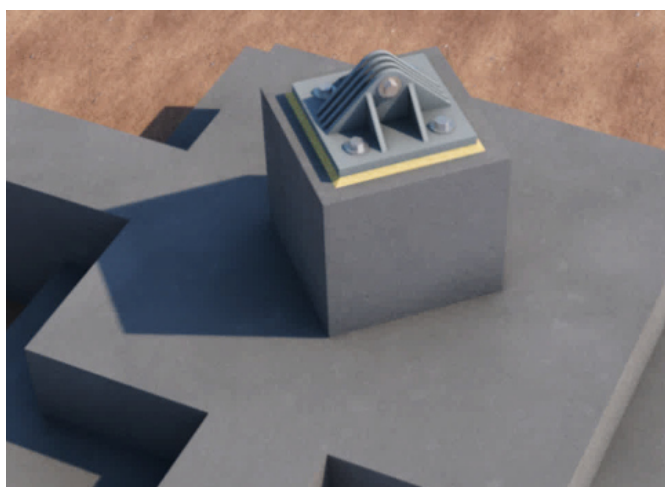
Předpokládaná minimální hodnota železobetonového základu: beton C20/25–XA1 (slabě agresivní chemické prostředí); vodní součinitel max. 0,55; množství cementu min. 300 kg/m^3 ; maximální průsak vody 50 mm^2 , ocel B500B, normálně vyztužený.

Základ se vybetonuje pomocí betonpumpy do systémového bednění, zakotveného k podkladnímu betonu tloušťky 100mm třídy: C12/15.

3.2 Patky (nadbetonávka)

Třetí stupeň základové patky o rozměrech $0,75\text{m} \times 0,75\text{m}$, výšky 0,75 metru se vybetonuje ve druhé fázi betonáže. Při betonáži se použijí šablony s osazenými pozinkovanými šrouby M24 šrouby. Přesné výškové a polohové zaměření provede autorizovaný geodet. Výšková tolerance předem zabetonovaných šroubů s hákem

Obrázek 3.2 – Pohled na nadbetonávku



(ilustrační vizualizace)

je $\pm 20\text{mm}$. Předpokládaná minimální hodnota železobetonové nadbetonávky základu: beton C25/30–XF2 (mírně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky); vodní součinitel max. 0,55; množství cementu min. 300 kg/m^3 ; třída pevnosti betonu min. C25/30; maximální průsak vody 50 mm^2 ; objem vzduchových pórů max. 4%, ocel B500B, normálně vyztužený. Nadbetonávka musí splňovat požadavky pro pohledový beton, horní povrch je zdrsněn (sprážením se zálivkovou hmotou).

3.3 Podstava

Kotvení do patek (patní plech)

Uložení dřevěného sila na železobetonové patky je kloubové. Pro splnění tohoto předpokladu je navržen patní plech tloušťky 15mm s čepovým ložiskem. Podlití patního plechu je uvažováno $30 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$.

Sloupy

Sloupy délky 7,38m jsou řešeny jako oboustranně kloubově připojené k patnímu plechu a ocelové skruži. Přibližně ve třech čtvrtinách výšky se pomocí styčnickového plechu s čelní deskou na sloupy napojují vzpěry a táhla.

Předběžný návrh uvažuje smrkové sloupy z lepeného lamelového dřeva BSH třídy pevnosti GL32h, obdélníkového průřezu $0,5 \text{ m} \times 0,26 \text{ m}$. Přenos zatížení od ocelové skruže na začátku sloupu do patního plechu je realizován pomocí čepového spoje. Čepové ložisko je přivařeno na čelní plech, který navazuje na vložený plech zajištěný několika řadami samovrtných kolíků

Obrázek 3.3.a – Podstava

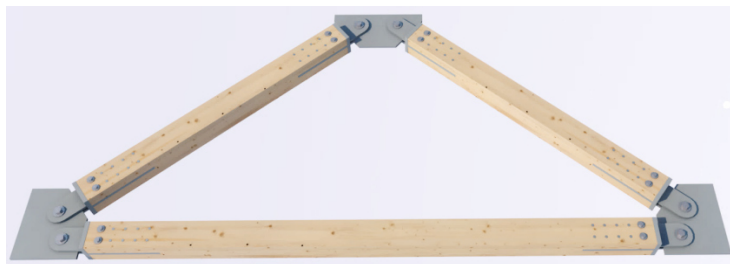


(ilustrační vizualizace)

Vzpěry a táhla

Vzpěry délky 2,7m a táhla délky 4,35m jsou řešeny jako oboustranně kloubově připojené k čelnímu plechu na sloupu a čelnímu plechu na ocelové skruži. Předběžný návrh uvažuje smrkové hranoly z lepeného lamelového dřeva BSH třídy pevnosti GL32h, obdélníkového průřezu 0,18m × 0,18 m. Přenos osových sil je realizován pomocí čepového spoje. Čepové ložisko je přivařeno na čelní plech, který navazuje na jeden vložený plech zajištěný několika řadami samovrtných kolíků.

Obrázek 3.3.b – Vzpěry a táhlo

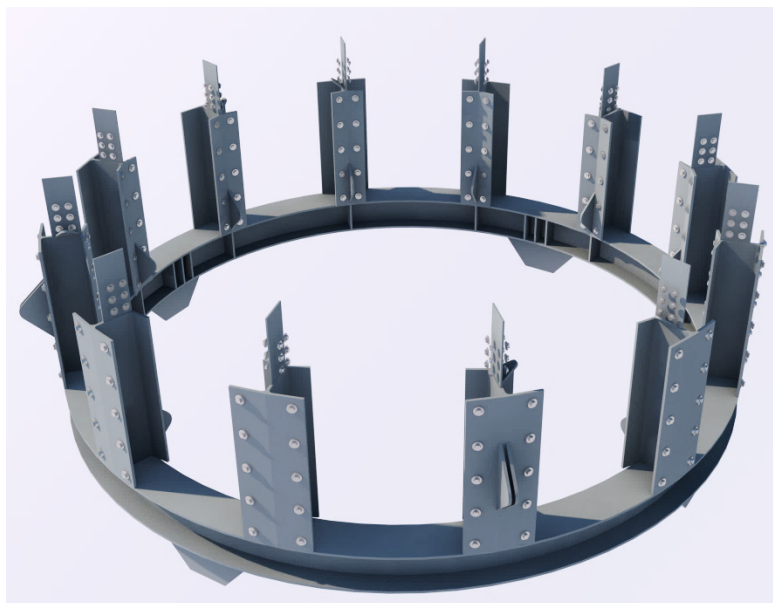


(ilustrační vizualizace)

Ocelová skruž

Ocelová skruž je svařenec ohýbaných plechů, sloužících pro přenos extrémních tahových a tlakových sil od skladovaného materiálu. Ocelová skruž přímo spolupůsobí s dřevěnou skruží jako jeden celek.

Obrázek 3.3.c – Ocelová skruž



(ilustrační vizualizace)

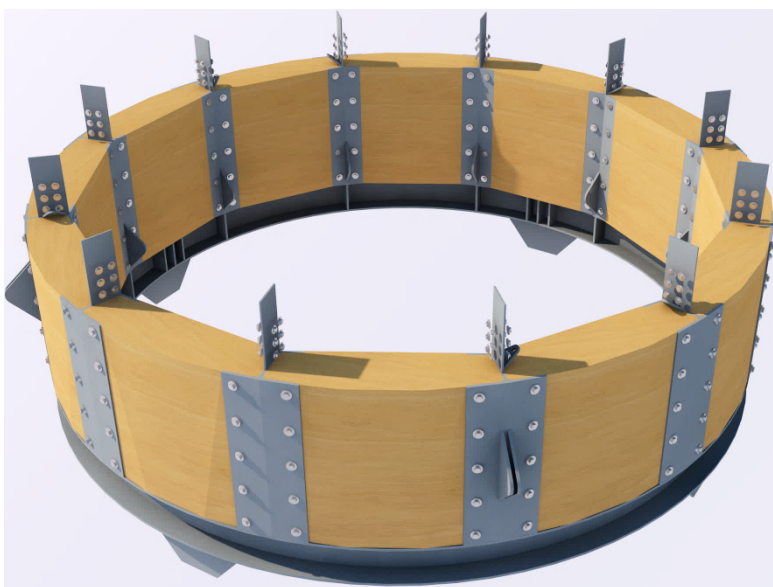
Na ocelovou skruž se pomocí styčnickového plechu napojují další konstrukční části. Z vnější části se ve čtyřech místech kloubově napojují čtyři sloupy, ze spodu se na skruž napojuje osm vzpěr ve čtyřech místech. Uvnitř se na skruž napojuje dvanáct hranolů výsyvky a nahoře se na skruž napojuje dvanáct sloupů zásobníku.

Komplikovanou konstrukci ocelové skruže tvoří vodorovný ocelový základový prstenec (base ring) [18] průřezu „H“ s průměrem 5m, na nějž jsou navařeny ocelové sloupky průřezu „I“, délky 1,15m. V místě napojení sloupků je prstec opatřen navařenými výztuhami. Dalšími prvky na skruži jsou styčnickové plechy zabezpečující kloubové napojení ostatních částí sila.

Dřevěná skruž

Dřevěná skruž je součástí ocelové skruže. Vytváří takzvaný lemující pás (skirt) [18], který leží pod přechodem svislých stěn a výsypky. Je charakteristický tím, že není v kontaktu se skladovaným materiálem. V případě navrhovaného dřevěného sila slouží jako výplňový prvek se ztužující funkcí.

Obrázek 3.3.d – Dřevěná skruž



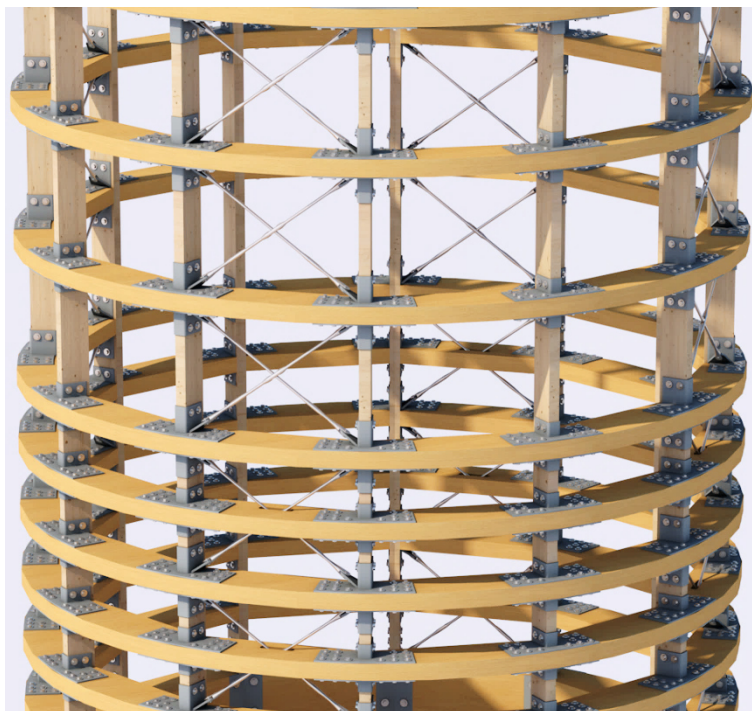
(ilustrační vizualizace)

3.4 Tělo zásobníku

Konstrukce zásobníku je stěžejním prvkem celého objektu sila na dřevní pelety. Netradiční konstrukce vychází z obousměrných roštů dřevěných trámových stropů. Hlavní nosné trámy jsou vedeny ve dvou na sebe kolmých směrech a spojeny křížovými sponami.

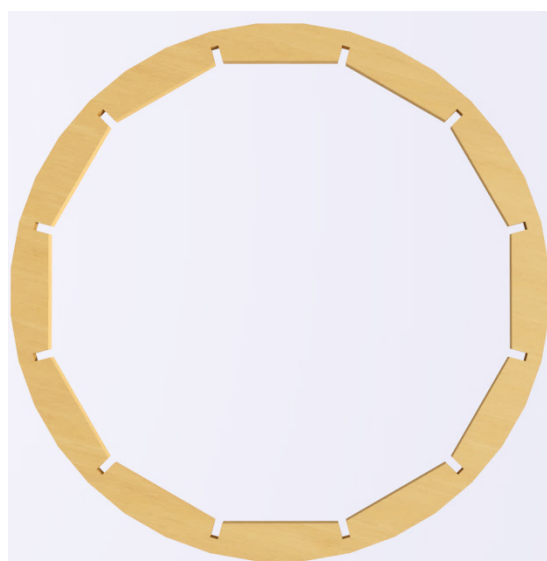
Tělo zásobníku je složeno z dvanácti vodorovných prstenců (prstencových nosníků (ring girder, ring beam)) [16] a dvanácti svislých sloupků. Prstence jsou složeny z dvanácti segmentů. Tloušťka segmentu je 100 mm. V místě napojení na svislý sloupek je segment široký 300mm. Vnitřní tvar prstence je vyskládán do pravidelného dvanáctiúhelníku o poloměru vepsané kružnice 2270 mm. Vnější povrch je zaoblen do kruhu o poloměru 2650 mm. Dvanáct průběžných sloupků je z lepeného lamelového dřeva třídy pevnosti **GL32h**, obdélníkového průřezu 300mm×80mm. Prstence a sloupky jsou navzájem spojeny křížovou ocelovou spojkou. Vnitřní povrch tvoří zavěšený vnitřní plášť složený z CLT panelů firmy NOVATOP SOLID [46] tloušťky 81mm.

Obrázek 3.4.a – Tělo zásobníku



(ilustrační vizualizace

Obrázek 3.4.b – Složené segmenty prstence



(ilustrační vizualizace

Spojení svislého sloupku a segmentů vodorovného prstence je provedeno ocelovou sponou. Spona respektuje geometrii spoje a je svařena z několika na sebe kolmých plechů.

Tuhost zásobníku je zajištěna tuhostí CLT panelů firmy NOVATOP SOLID tloušťky 81mm, kotvených do sloupků a prstenců pomocí nerezových vrtů se zápusťnou hlavou s předvrtáním.

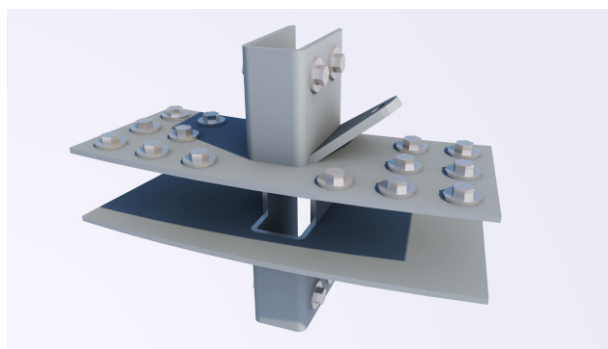
Zásobník je napojen na ocelový prstenec přes dvanáct plechů viz *Obrázek 3.3.d – Dřevěná skruž*. Plechy jsou vloženy do sloupků a zajištěny několika řadami samovrtných kolíků.

3.5 Fasáda (vnější plášť)

Negativní vlivy počasí ovlivňují celkovou životnost stavby. Úkolem vnějšího pláště je nejen vizuální sjednocení válcového povrchu zásobníku a skruže, ale především zvýšení trvanlivosti dřevěných a ocelových nosných částí.

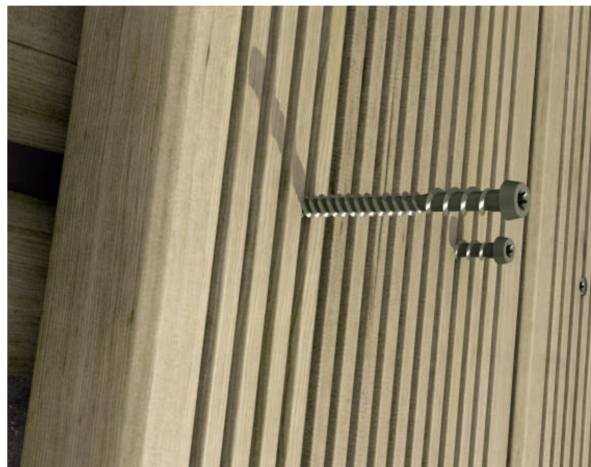
Jedná se o skládanou fasádu ze svislých prken z trvanlivého dřeva nebo s úpravou thermowood. Prkna mají přibližný rozměr 144mm×24mm a před montáží jsou chemicky ošetřeny, včetně dodatečně prováděných řezů. Kotvení prken se provede do dřevěných prstenců přes plastové distanční podložky pomocí nerezových vrtů se zápusťnou hlavou, určených pro dřevěné terasy. (Principiálně se jedná o totožnou technologii, jako pokládka dřevěných teras.) Mezery mezi prkny musí být minimálně 5mm a maximálně

Obrázek 3.4.c – Detail spony



(ilustrační vizualizace)

Obrázek 3.5 – Prkno vnějšího pláště



(ilustrační fotografie)

10mm. Prkna s povrchovými drážkami zajistí odvod srážek a mezery mezi nimi provětrání vnitřního prostoru.

Plastové distanční podložky tloušťky cca 5mm zajistí příčné i podélné dilatování pláště. Sníží množství kondenzátu a srážek stékajících na vodorovné prstence a současně vytvoří vzduchovou mezeru mezi těmito prvky.

Návrh umožňuje pravidelné provedení revize, případně obnovení anti-korozních úprav.

3.6 Výsypka

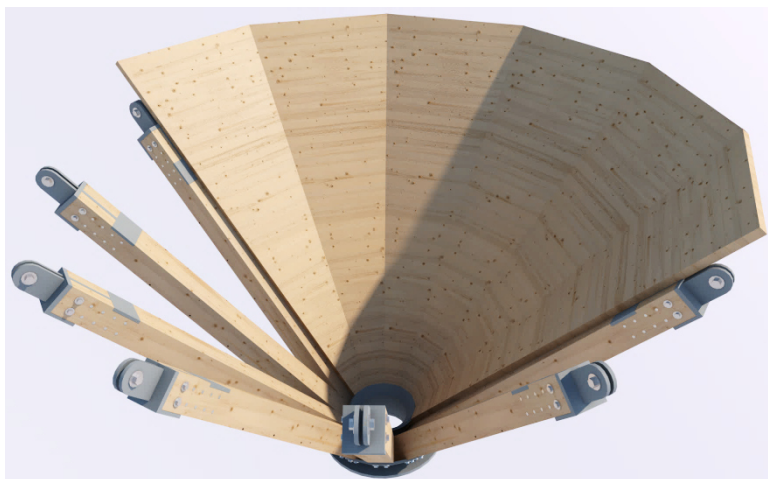
Výsypka je dno zásobníku se šikmými stěnami [16]. Tvoří ji pravidelný dvanáctiboký jehlan složený z CLT panelů (Cross Laminated Timber) firmy NOVATOP.

Žebra výsypky a vnitřní CLT plášť jsou namáhána osovou silou a ohybovým momentem.

Návrh uvažuje panely typu SOLID, tloušťky 81mm, s příčně orientovanými povrchovými lamelami. Vnitřní plášť z CLT panelů NOVATOP je uložen na dvanácti žebrech s grádováním. Žebra tvoří smrkové hranoly z lepeného lamelového dřeva BSH třídy pevnosti GL32h, obdélníkového průřezu $0,2\text{ m} \times 0,3\text{ m}$. Přenos osových sil do ocelového prstence je realizován pomocí standartního čepového spoje. Čepové ložisko je přivařeno na čelní plech, který navazuje na jeden vložený plech zajištěný několika řadami samovrtných kolíků. Současně je na vloženém plechu pár kolmo navařených plechů přenášejících ohybový moment mezi vloženým plechem a hranolem.

Ve vrcholu výsypky (nejnižší místo zásobníku) se nachází ocelový plech „prstýnek“, který zabezpečuje bezpečný přenos sil všech dvanácti napojujících se žeber výsypky.

Obrázek 3.6 – Detail výsypky



(ilustrační vizualizace)

Vyprazdňování sila se děje v dolní části výsypky. Nosná konstrukce je v tomto místě tvořena ocelovým svařencem plechů (prstýnek), vytvářející ústový otvor a podkladní plech pro technologii vyprazdňování. V zásadě přicházejí v úvahu dva principy prázdňení. Výsypný, kdy budou skladované pelety samovolně padat přes klapkový uzávěr do nákladního automobilu s otevřenou korbou nebo pneumatický. Princip pneumatického plnění je totožný s plněním sila. K podkladnímu plechu ve vrcholu výsypky je přivařen sběrač pro pneumatický dopravník. Dvojice potrubí je svedena po konstrukci podstavu do výšky cca 1,0 metru nad terén. Potrubí je osazeno bajonetovými koncovkami, k nimž se napojí cisterna s turbínou. (není předmětem řešení)

3.7 Zastřešení

Nosná konstrukce střechy ve tvaru pravidelného dvanáctibokého jehlanu je tvořena jednoduchou krokrovou soustavou s vrcholovou vaznicí. Vrcholový vaznicový

Obrázek 3.7.a – Krov



(ilustrační vizualizace)

věnc je složen ze čtyř hranolů $160\text{ mm} \times 160\text{ mm}$ do tvaru čtverce, světlý prostor šířky 1000mm uvnitř vaznicového věnce je určen pro průlez střešním pláštěm. Všechny dvanáct krokví $80\text{ mm} \times 120\text{ mm}$ je symetricky rozmístěno a osazeno na nejvyšší prstenec pomocí osedlání zajištěného dlouhým vrutem. Geometricky složitě napojení krokví na vaznicový věnc je provedeno zadrápnutím nebo osedláním, dle polohy krokve vůči věnci. Tesařské spoje jsou zajištěny dlouhými vruty. Krokve jsou při horním povrchu zkoseny (grádování), tak aby záklop

Obrázek 3.7.b – Vazný věnc



(ilustrační vizualizace)

plošně přiléhal.

Celoplošný záklop tvoří lichoběžníkové panely z panelů CLT NOVATOP STATIC tloušťky 45mm, se zvýšenou únosností. Desky jsou kladeny hlavní osou příčně s krokviemi. Kotvení panelů do krokví se provede nerezovými vruty se záпустnou hlavou s předvrtáním. Podbití přesahu střechy se provede deskami z trvanlivého dřeva, viz kapitola „Fasáda.“

3.8 Funkční části sila

Výlez na silo

Žebřík na střechu je typizovaný dle ČSN 74 3282 – Pevné kovové žebříky pro stavby. Ocelová žárově zinkovaná konstrukce žebříku bude kotvena do svislých nosných částí sila. Návrh výlezu není součástí řešení diplomové práce. Jedná se však o několika dílný ocelový žebřík s ochranným košem a dvěma podestami se zábradlím, navržený dle zásad ČSN EN 74 3282. Výlez bude dodán jako samostatný celek a přikotven k nosné konstrukci pomocí vrutů. Rovněž bude vodivě napojen na bleskosvod.

Revizní otvor vnitřního prostoru sila je situován ve vrcholu jehlanové střechy. Jedná se o uzamykatelná ocelová dvířka o rozměrech (1,0x1,0m). Dvířka jsou osazena k vaznému věnci a napojena na hydroizolační souvrství střešní konstrukce.

Plnění sila

Plnění sila dřevními peletami bude realizováno pomocí pneumatického dopravníku. Dopravník funguje jako uzavřený okruh o normálním atmosférickém tlaku. Proud vzduchu unáší peletové částice přívodním potrubím a v horizontálním směru plní zásobník ze spodu nahoru. Vyústění přívodního potrubí je umístěno centricky ve vrcholu zásobníku, kdy pelety rovnoměrně, rotačně symetricky vyplňují volný prostor pod sebou. Případná prašnost je odváděna vratným (sacím) potrubím zpět k turbíně s prachovým filtrem. Počátek sacího potrubí je ve výšce +0,5 metru nad ústím přívodního potrubí a je na toto potrubí kolmé. Kolmou orientací na přívodní potrubí a umístěním při povrchu vnitřního pláště dochází k rotačnímu proudění vzduchu a rovnoměrnějšímu plnění pelet. Přívodní i vratné potrubí je ocelové, průměru DN 100. Technologie plnění obsahuje včetně přívodního a vratného potrubí

také přívod silnoproudu a slaboproudu řídicí jednotky. Tyto instalace jsou k silu přivedeny přes nadzemní energetický most (není součástí řešení této diplomové práce). Vlastní tíha kabeláže je z hlediska hlavní nosné konstrukce zanedbatelná, přesné umístění kabelové trasy není součástí řešení této diplomové práce. Ocelové potrubí je vedeno při povrchu vnějšího opláštění. Kotvení je zajištěno pomocí instalačního systému (např. HILTI) s žárově pozinkovanými díly. Vhodnou variantou jsou systémové konzoly s patním plechem. Konce konzol jsou ze stran osazeny dvěma dvoudílnými objímkami s pryžovým těsněním. Maximální osová vzdálenost konzol nesmí být větší než dva metry. Konzoly jsou přišroubovány přes patní plech s podložkou ke sloupkům zásobníku, pomocí pozinkovaných vrutů s šestihrannou hlavou.

Klempířské výrobky

Oplechování střechy není předmětem řešení diplomové práce. Jedná se o okapní nosy a oplechování výlezu. Oplechování bude v tmavohnědé barvě, korespondující s odstínem střešní krytiny z lepenkového šindele.

Okapové žlaby v tmavohnědém odstínu jsou ke střešnímu záklopu přikotveny pomocí háků. Háky jsou umístěny v minimálním počtu tří kusů v každém rovném úseku. Žlaby jsou navzájem vodotěsně spojeny a vyspádovány do dvou svodů osazených přes okapové kotlíky. Svod je kotven pomocí dvoudílných objímk. Rozestup objímk se řídí dle výrobce a zatížení větrem, maximálně však 2,0 metru.

Aktivní bleskosvod je vyveden 2,0 metru nad úroveň střechy v nejvyšším místě a je osazen jímačem. Svod bleskosvodu je řešen dvojicí izolovaných vodičů na bázi hliníku, umístěnými pod konstrukcí vnějšího pláště a po straně dřevěných sloupů. Vodiče se napojí na pozinkované pásky osazené během výkopových prací.

Přístupová komunikace

Nová zpevněná plocha šířky 5,0 metru je určena k obsluze sila. (viz příloha S01 – SITUACE STAVBY) Předpokládá se pneumatické vyprazdňování sila do cisteren, nebo do otevřeného návěsu. Podjezdový prostor pod silem je 4,4 metru. Nově zpevněná plocha bude vyskládána z betonové drenážní dlažby tloušťky minimálně 80mm do vhodného souvrství, pro

vozidla nad 12 tun. Dlažba musí být ohraňena zabetonovanými obrubníky a vyspádována tak, aby se na ní nedržela voda.

Požárně bezpečnostní řešení

Požárně bezpečnostní řešení není předmětem diplomové práce. Odstupové vzdálenosti dřevěného sila jsou vzhledem k dispozičním možnostem zvoleny 20 metrů od okolních objektů. Hranice požárně nebezpečného prostoru musí být ověřena výpočtem. V předběžném návrhu je uvažováno s hranicí požárně nebezpečného prostoru 17,5 metru od líce fasády, vzhledem k výšce a materiálovému řešení nosné konstrukce objektu.

3.9 Základní geometrie navrženého sila

– Šířka v patě:	7,000m
– Celková výška:	18,000m
– Celkový objem:	156,386m ³
– Maximální hmotnost náplně:	100,000 tun
– Výška podstavy:	6,000m
– Výška výsypky:	2,500m
– Sklon výsypky:	42,000°
– Ekvivalentní vnitřní průměr:	4,500m
– Vnější průměr zásobníku:	5,350m
– Sklon jehlanové střechy:	30,000°
– Přesah střechy:	0,500m

4. Materiálové charakteristiky

4.1 Rostlé dřevo a lepené lamelové dřevo

Tabulka 4.1 – Materiálové charakteristiky dřeva [21;24]

		C24	GL32h
Pevnosti		[MPa]	[MPa]
Ohyb	$f_{m,k}$	24,0	32,0
Tah rovnoběžně s vlákny	$f_{t,0,k}$	14,0	22,5
Tah kolmo k vláknům	$f_{t,90,k}$	0,4	0,5
Tlak rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	21,0	29,0
Tlak kolmo k vláknům	$f_{c,90,k}$	2,5	3,3
Smyk	$f_{v,k}$	2,5	3,5
Tuhosti		[GPa]	[GPa]
Průměrná hodnota modulu pružnosti s vlákny	$E_{0,mean}$	11,0	13,7
5% kvantil modulu pružnosti s vlákny	$E_{0,05}$	7,4	10,8
Průměrná hodnota modulu pružnosti ⊥ k vláknům	$E_{90,mean}$	0,37	0,46
Průměrná hodnota modulu pružnosti ve smyku	G_{mean}	0,69	0,85
Hustota		[kg/m³]	[kg/m³]
Hustota	ρ_k	350	430
Průměrná hodnota hustoty	ρ_{mean}	420	

4.2 CLT panely

NOVATOP SOLID – je velkoplošný vícevrstvý panel typu CLT (cross laminated timber). Každá vrstva panelu je tvořena z lamel z rostlého smrkového dřeva. Lamely jsou k sobě slepeny v podélném i příčném směru, jednotlivé vrstvy lamel jsou kladeny do kříže a určují konečnou tloušťku panelu.

NOVATOP STATIC – vícevrstvá deska z rostlého dřeva se dvěma rovnoběžnými svrchními vrstvami z každé strany a středovou vrstvou s kolmým průběhem vláken k průběhu vláken svrchních vrstev.

Při analýze průhybu se nesmí zanedbat deformace smykem.

Tabulka 4.2 – Materiálové charakteristiky CLT panelů [43;44]

Typ desky		STATIC 45 (9-9-9-9-9)	SOLID 81 3×(9p-9q-9p)
Počet vrstev		5	9
Tloušťka [mm]		45	81
Tloušťka povrchových lamel [mm]		18,0	
Tloušťka středových lamel [mm]		9,0	
Moment setrvačnosti (vztahuje se k šířce desky 1m)	$I_{y,0}$	6,05E06	3,13E07
	$I_{y,90}$		1,41E07
Modul průřezu (vztahuje se k šířce desky 1m)	$W_{y,0}$	2,69E5	6,74E05
	$W_{y,90}$		3,69E05
Namáhání kolmo na rovinu desky		[MPa]	[MPa]
Ohyb rovnoběžně s vlákny vnějších vrstev	$f_{m,0,k}$	29,8	24,0
Ohyb kolmo k vláknům vnějších vrstev	$f_{m,90,k}$	3,1	
Modul pružnosti s vlákny vnějších vrstev	$E_{m,0}$	11400	11600
Modul pružnosti ⊥ k vláknům vnějších vrstev	$E_{m,90}$	250	
Pevnost ve smyku	$f_{v,k}$	1,1	
Modul pružnosti ve smyku	G	90	
Namáhání v rovině desky		[MPa]	[MPa]
Ohyb rovnoběžně s vlákny vnějších vrstev	$f_{m,0,k}$	24,2	
Ohyb kolmo k vláknům vnějších vrstev	$f_{m,90,k}$	3,4	
Tah rovnoběžně s vlákny	$f_{t,0,k}$	16,1	
Tah kolmo k vláknům	$f_{t,90,k}$	2,3	
Tlak rovnoběžně s vlákny	$f_{c,0,k}$	24,2	24,0
Tlak kolmo k vláknům	$f_{c,90,k}$	3,4	
Pevnost ve smyku	$f_{v,k}$	3,0	
Modul pružnosti s vlákny vnějších vrstev	$E_{m,0}$	9300	
Modul pružnosti ⊥ k vláknům vnějších vrstev	$E_{m,90}$	1300	
Modul pružnosti ve smyku	G	600	
Hustota		[kg/m³]	[kg/m³]
Hustota	ρ	490	490

4.3 Ocelové plechy

Tabulka 4.3 – Charakteristiky ocelových plechů [17]

napětí na mezi kluzu	$f_{y,k}$ [MPa]	355
napětí na mezi pevnosti	$f_{u,k}$ [MPa]	510
objemová hmotnost	ρ_s [kg/m ³]	7850
dílčí součinitel spolehlivosti oceli	γ_{M0}	1,00
dílčí součinitel spolehlivosti pro svary	γ_{M2}	1,25

4.4 Beton

Tabulka 4.4 – Charakteristiky betonů [20;42]

		C20/25	C25/30
charakteristická válcová pevnost betonu v tlaku	$f_{c,k}$ [MPa]	20	25
charakteristická krychelná pevnost betonu v tlaku	$f_{c,k,cube}$ [MPa]	25	30
průměrná hodnota válcové pevnosti betonu v tlaku	f_{cm} [MPa]	28	33
průměrná hodnota pevnosti betonu v dostředném tahu	f_{ctm} [MPa]	2,2	2,6
charakteristická pevnost betonu v dostředném tahu	$f_{ctk;0.05}$ [MPa]	1,5	1,8
	$f_{ctk;0.95}$ [MPa]	2,9	3,3
sečnový modul pružnosti betonu	E_{cm} [GPa]	30	31
dílčí součinitel spolehlivosti betonu	γ_c	1,5	

4.5 Betonářská ocel

– Povrch: žebírkový

Tabulka 4.5 – Charakteristiky betonářské oceli [20;42]

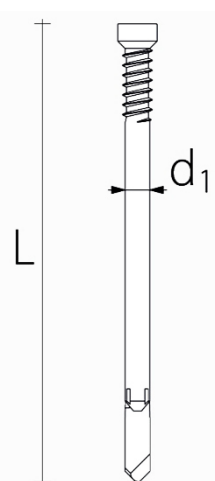
Tip oceli		B500B
charakteristická mez kluzu betonářské výztuže	$f_{y,k}$ [MPa]	500
charakteristická mez mezi pevnosti betonářské výztuže	$f_{u,k}$ [MPa]	550
objemová hmotnost	ρ_s [kg/m ³]	7850
Poissonův součinitel	μ_s [MPa]	0,3
dílčí součinitel spolehlivosti výztuže	M_s [MPa]	210 000
dílčí součinitel spolehlivosti výztuže	γ_s	1,15

4.6 Kolíky

- Uhlíková ocel s galvanickým zinkováním
- Samovrtný kolík ROTHOBLAAS WS
- Maximální schopnost provrtání pro ocel S235/St37/Fe360:
3x plech TL. 5mm nebo 1x plech TL. 10mm
- Hlava: válcová SFS
- Hrot: OCEL vrtací
- Materiál: uhlíková ocel + galvanické pozinkování

Tabulka 4.6 – Charakteristiky kolíků [44]

		KOLÍK WS
Materiál (uhlíková ocel)		zinek
Jmenovitý průměr	d_1 [mm]	7
Průměr hlavy	d_k [mm]	10,00
Délka hrotu	L_p [mm]	3,40
Charakteristický moment kluzu	$M_{y,k}$ [Nmm]	31930
Minimální vzdálenosti pro kolíky namáhané na střih		
	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=90^\circ$
a_1 [mm]	35	21
a_2 [mm]	21	21
$a_{3,t}$ [mm]	80	80
$a_{3,c}$ [mm]	21	21
$a_{4,t}$ [mm]	21	28
$a_{4,c}$ [mm]	21	21
Délka kolíku	L [mm]	233; 173



Samovrtný kolík je certifikovaný produkt, který dovoluje rychlou a přesnou realizaci skrytých spojů. Cylindrická hlava kolíku bude zapuštěna cca 10mm pod úroveň líce dřevěného prvku, vzniklý otvor je následně zaslepen vlepenou dřevěnou záslepkou. Záslepka musí být z vysušeného dřeva identické kvality jako prvek, ve kterém se nachází. Lepidlo je totožné s lepidlem při výrobě prvku.

Kolíkové spoje (pokud se nejedná o montážní spoj) jsou provedeny v truhlářské dílně na základě výrobní dokumentace (Není předmětem řešení této diplomové práce.). Dílenskou (výrobní) dokumentaci standardně vypracovává dodavatel stavby. Aby bylo zajištěno symetrické rozložení sil mezi kolíky, budou kolíky střídavě zavrtávány z obou stran plechu.

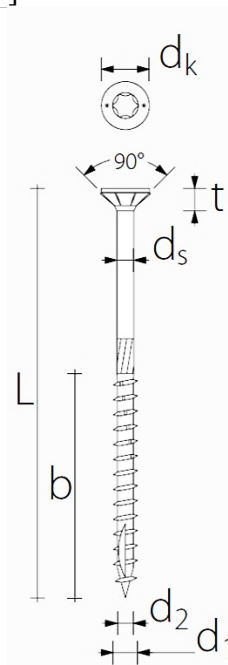
4.7 Vruty

Vrut ROTHOBLAAS SCI [44]

- Vruty budou šroubovány s předvrtáním v panelu CLT
- Hlava: zápusťná se žebrováním
- Závit: rychlé stoupáním
- Hrot: SHARP se dvěma zářezy
- Materiál: nerezová ocel AISI316/A4 (nejvyšší odolnost proti korozi)
- Vhodné pro třídu atmosférické koroze C2 dle [22] EN 1194
- Vhodný pro pohledové vertikální konstrukce (fasády)

Tabulka 4.7.a – Charakteristika vrutů ROTHOBLAAS SCI [44]

		VRUT SCI	
Materiál (nerezová ocel)		A4	
Jmenovitý průměr	d_1 [mm]	5	
Průměr hlavy	d_k [mm]	10,00	
Průměr jádra	d_2 [mm]	3,40	
Průměr stopky	d_s [mm]	3,70	
Tloušťka hlavy	t_1 [mm]	4,65	
Průměr převrtání	d_y [mm]	3,0	
Charakteristický moment kluzu	$M_{y,k}$ [Nmm]	3939,8	
Char. parametr odolnosti vůči vytažení	$f_{ax,k}$ [N/mm ²]	17,9	
Spojená hustota	ρ_a [kg/m ³]	440	
Char. parametr vniknutí hlavy	$f_{head,k}$ [N/mm ²]	17,6	
Spojená hustota	ρ_a [kg/m ³]	440	
Charakteristická mez pevnosti v tahu	$F_{tens,k}$ [kN]	4,30	
Minimální vzdálenosti pro vruty namáhané na stříh (předvrtané)			
	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=90^\circ$	
a_1 [mm]	25	20	
a_2 [mm]	15	20	
$a_{3,t}$ [mm]	60	35	
$a_{3,c}$ [mm]	35	35	
$a_{4,t}$ [mm]	15	35	
$a_{4,c}$ [mm]	15	15	
Minimální vzdálenosti pro vruty namáhané na stříh bez předvrtání			
a_1 [mm]	60	25	
a_2 [mm]	25	25	
$a_{3,t}$ [mm]	75	50	
$a_{3,c}$ [mm]	50	50	
$a_{4,t}$ [mm]	25	50	
$a_{4,c}$ [mm]	25	25	
Délka vrutu	L [mm]	60	100
Délka závitové části	b [mm]	30	50

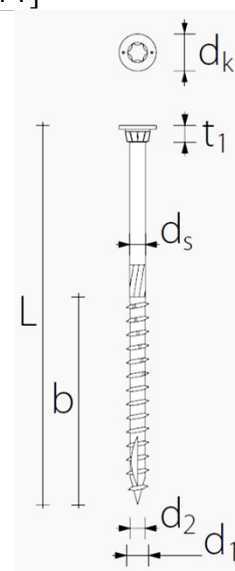


Vrut ROTHBLAAS KKF

- Vrutu budou šroubovány s předvrtáním v panelu CLT
- Speciální asymetrický deštníkový závit s prodlouženou délkou
- Hlava: cylindrická
- Závit: pomalé stoupáním
- Hrot: SHARP se dvěma zářezy
- Materiál: nerezová ocel AISI 410
- Vhodné pro třídu atmosférické koroze C2 dle [22] EN 194
- Nevhodný pro pohledové vertikální konstrukce
- Mechanicky odolnější než vrut SCI A4

Tabulka 4.7.b – Charakteristika vrutu ROTHBLAAS KKF [44]

		VRUT KKF AISI 410
Materiál (nerezová ocel)		
Jmenovitý průměr	d_1 [mm]	6
Průměr hlavy	d_k [mm]	11,8
Průměr jádra	d_2 [mm]	4,05
Průměr stopky	d_s [mm]	4,30
Tloušťka hlavy	t_1 [mm]	7,00
Průměr převrtání	d_y [mm]	4,0
Charakteristický moment kluzu		$M_{y,k}$ [Nmm]
		9493,7
Char. parametr odolnosti vůči vytažení	$f_{ax,k}$ [N/mm ²]	11,7
Char. parametr vniknutí hlavy	$f_{head,k}$ [N/mm ²]	16,5
Charakteristická mez pevnosti v tahu	$F_{tens,k}$ [kN]	11,3
Minimální vzdálenosti pro vruty namáhané na stříh (předvrtané)		
	$\alpha=0^\circ$	$\alpha=90^\circ$
a_1 [mm]	30	25
a_2 [mm]	18	24
$a_{3,t}$ [mm]	72	42
$a_{3,c}$ [mm]	42	42
$a_{4,t}$ [mm]	18	42
$a_{4,c}$ [mm]	18	18
Min. vzd. pro vruty namáhané na stříh bez předvrtání $\rho_k \leq 420 \text{ kg/m}^3$		
a_1 [mm]	72	30
a_2 [mm]	30	30
$a_{3,t}$ [mm]	90	60
$a_{3,c}$ [mm]	60	60
$a_{4,t}$ [mm]	30	60
$a_{4,c}$ [mm]	30	30
Délka vrutu	L [mm]	200
Délka závitové části	b [mm]	100



5. Stanovení zatížení

Zatížení je stanoveno na základě ČSN EN 1991.

5.1 Stálé zatížení

Stálé zatížení je definováno jako tíha nosných, nenosných konstrukcí a ostatního trvale zabudovaného zatížení.

Zatížení nosné konstrukce vlastní tíhou je generováno softwarem Scia Engineer automaticky. Rozložení v konstrukci je závislé na ploše průřezu jednotlivých prvků a hustotě daného materiálu. Ve výpočtu není uvažováno s vlastní tíhou spojovacích prostředků, toto zatížení bude uvažováno v konečném ověření konstrukce (Není předmětem řešení této diplomové práce.).

Plošné prvky skladby střešního pláště, vnitřní/vnější plášť zásobníku a výsypky jsou idealizovány rovnoměrným spojitým zatížením na prutové prvky.

Mezi ostatní trvale zabudované části patří technologie plnění/prázdňení, žebřík na střechu, revizní otvor ve vrcholu střechy a okapové svody. Nejedná se o dominantní zatížení. Tato zatížení nejsou součástí posouzení.

5.2 Užité zatížení

Užite zatížení střeby

Střeby bude nepřístupná s výjimkou běžné údržby a oprav. Užité zatížení střeby je v tomto návrhu zanedbáno.

- Kategorie zatěžovacích ploch: „H“

$$q_{k,H} = 0 \sim 1,0 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_{k,H} = 0,9 \sim 1,5 \text{ kN}$$

Nejedná se o dominantní zatížení. Na střeách kategorie „H“ se dle [13] nemá uvažovat současné působení užitných zatížení a zatížení sněhem nebo větrem. Lze předpokládat, že nikdo nebude na střeše sila provádět údržbu během silného větru a sněhové pokrývky. Tuto skutečnost lze uvést v provozních podmínkách. Pro konstrukci střeby se musí provést samostatné ověření na účinky soustředěného zatížení $Q_{k,H}$ a zatížení rovnoměrně rozděleného $q_{k,H}$. Tato zatížení působí nezávisle. (Není součástí řešení této diplomové práce.)

Užite zatížení žebříku

Předpokládá se zatížení od údržby a oprav střeby. Nejedná se však o dominantní zatížení. V rámci této diplomové práce není žebřík uvažován ve výpočtu. Všeobecně je však nutné posoudit konstrukci na účinky zatížení od žebříku a zatížení působící na žebřík. (vlastní tíha, užité, vítr, námraza, případně voda v požárním potrubí a jiné)

5.3 Zatížení sněhem

Celkem čtyři zatěžovací stavy. 1. Stav plné zatížení, 2. Stav 1/12 plné 11/12 poloviční 3. Stav 3/12+9/12 4. Stav 5/12+7/12

Poloha staveniště:

- Zeměpisná šířka: 49°53'27,2"
- Zeměpisná délka: 17°33'52,9"
- Sněhová oblast: IV

$H = 531$ m. n. m BpV Nadmořská výška staveniště

$\alpha = 30^\circ$ Sklon střechy

Charakteristická hodnota zatížení sněhem na zemi:

- Určeno z polohy, dle: <http://www.snehovamapa.cz/>

$s_k = 1,82$ kPa

Zatížení sněhem na sedlovou střechu:

$C_e = 1,00$ Součinitel expozice

$C_t = 1,00$ Tepelný součinitel

$\mu_1(\alpha) = 0,80$ Tvarový součinitel zatížení sněhem

$s_{\mu_1(\alpha)} = s_k \cdot C_e \cdot C_t \cdot \mu_1(\alpha) = 1,82 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,8 = 1,456$ kPa

$s_{0,5,\mu_1(\alpha)} = s_{\mu_1(\alpha)} \cdot 0,5 = 1,456 \cdot 0,5 = 0,728$ kPa

5.4 Zatížení větrem

Působení větru na podstavu lze zanedbat vzhledem ke štíhlosti prutových prvků. Dominantní však bude zatížení válcového zásobníku a jehlanové střechy.

- Větrová oblast: IV
- Kategorie terénu: III

Stanovení maximálního dynamického tlaku

$z = h = 18,00$ m Výška objektu

$b = 5,60$ m Šířka objektu

$p_1 = 0,50$ m Přesah střechy

$\alpha = 30^\circ$ Sklon střechy

$v_{b,0} = 25,0 \text{ m/s}$	Výchozí hodnota základní rychlosti větru
$c_{dir} = 1,0$	Součinitel směru
$c_{season} = 1,0$	Součinitel ročního období
$v_b = v_{b,0} \cdot c_{dir} \cdot c_{season} = 25,0 \cdot 1,0 \cdot 1,0 = 25,0 \text{ m/s}$	Základní rychlost větru
$z_o = 0,3 \text{ m}$	Parametr drsnosti terénu
$z_{min} = 5,0 \text{ m}$	Minimální výška
$Z_{o,II} = 0,05 \text{ m}$	Parametr drsnosti pro II kategorii terénu
$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_o}{Z_{o,II}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,05}\right)^{0,07} = 0,215 \text{ m}$	Součinitel terénu
$c_0 = 1,0 \text{ m}$	Součinitel ortografie
$k_l = 1,0 \text{ m}$	Součinitel turbulence
$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3$	Měrná hmotnost vzduchu
$c_r = k_r \cdot \ln \frac{z}{z_o} = 0,215 \cdot \ln \frac{18,0}{0,3} = 0,882 \text{ m}$	Součinitel drsnosti terénu
$v_m = v_b \cdot c_r \cdot c_0 = 25,0 \cdot 0,882 \cdot 1,0 = 22,047 \text{ m/s}$	Střední rychlost větru
$I_v = \frac{k_l}{c_0 \cdot c_r} = \frac{1}{1 \cdot 0,882} = 0,244$	Intenzita turbulence
– Maximální hodnota dynamického tlaku	
– $q_p = 1,25 \text{ kN/m}^2$	

Výpočet spojitého zatížení na střeše

- Konstrukce střechy ve tvaru pravidelného dvanáctibokého jehlanu bude zatížena analogicky jako šikmá sedlová střecha.
 - Řeší se příčný vítr $\theta = 0,0^\circ$
 - Všechny otvory jsou těsně uzavřeny $c_{pi} = 0,35$
 - Uvažují čtyři zatěžovací stavy.
- $b_s = 2p_1 + b = 2 \cdot 0,50 + 5,6 = 6,6 \text{ m}$ Šířka střechy
 $b_i = 1,5 \text{ m}$ Šířka základny trojúhelníkového segmentu střechy
 $v_i = 3,35 \text{ m}$ Výška trojúhelníkového segmentu jehlanu střechy
 $d_s = b_s = 6,6 \text{ m}$ Délka střechy

$$e = \min \left| \frac{b_s}{2h} \right| = \min \left| \frac{6,6}{2 \cdot 18,0} \right| = 6,60 \text{ m}$$

Plochy vystavené větru:

$$A_F = 2 \frac{e}{10} b_i = 2 \frac{6,6}{10} \cdot 1,5 = 1,98 \text{ m}^2$$

$$A_G = 3 \frac{e}{10} b_i = 3 \frac{6,6}{10} \cdot 1,5 = 2,970 \text{ m}^2$$

$$A_H = 7 \frac{b_i v_i}{2} - 5 \frac{e}{10} b_i = 7 \frac{1,5 \cdot 3,35}{2} - 6 \frac{6,6}{10} \cdot 1,5 = 12,637 \text{ m}^2$$

$$A_I = 5 \frac{b_i v_i}{2} = 5 \frac{1,5 \cdot 3,35}{2} = 12,563 \text{ m}^2$$

- Hodnoty c_{pe} jsou lineárně interpolovány podle úhlu sklonu střechy α a logaritmicky interpolovány podle plochy vystavené větru A

$$c_{pe}^{F-} = -1,203 \quad c_{pe}^{F+} = 0,7$$

$$c_{pe}^{G-} = -1,027 \quad c_{pe}^{G+} = -0,7$$

$$c_{pe}^{H-} = -0,2 \quad c_{pe}^{H+} = -0,4$$

$$c_{pe}^{I-} = -0,4 \quad c_{pe}^{I+} = -0,0$$

- Charakteristický tlak větru působící na vnější a vnitřní povrchy
- $w_k = q_k \cdot (c_{pe} + c_{pi})$

$$w_k^{F-} = -1,279 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^{F+} = 0,228 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{G-} = -1,134 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^{G+} = 0,228 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{H-} = -0,453 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^{H+} = 0,041 \text{ kN/m}^2$$

$$w_k^{I-} = -0,617 \text{ kN/m}^2 \quad w_k^{I+} = -0,288 \text{ kN/m}^2$$

Výpočet spojitého zatížení na tělo zásobníku

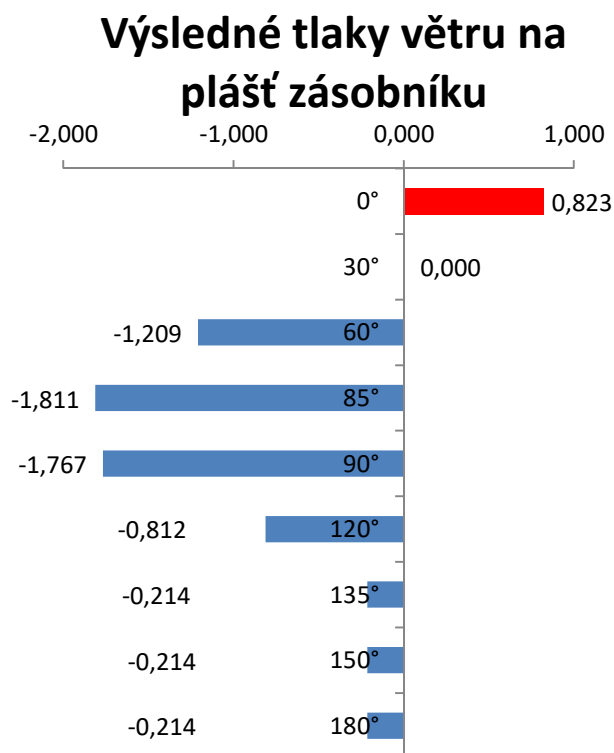
(ZATÍŽENÍ KRUHOVÉHO VÁLCE)

 $v = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ Kinetická viskozita vzduchu $v_{(z)} = 1,148 \text{ m/s}$ Maximální rychlost větru $Re = 4,28 \cdot 10^{-5}$ Reynoldsovo číslo $\psi_\lambda = 0,65 \text{ m}$ Součinitel koncového efektu*Součinitel vnějšího tlaku bez vlivu proudění kolem volných konců:* $c_{p0 \max} = 1,000$ Hodnota součinitele maximálního tlaku $c_{p0 \min} = -2,200$ Hodnota součinitele minimálního tlaku $c_{p0,h} = -0,400$ Součinitel tlaku na závětrné straně $\alpha_{\min} = 85,0^\circ$ Úhel minimálního tlaku $\alpha_0 = 30,0^\circ$ Úhel nulového tlaku $\alpha_A = 135,0^\circ$ Úhel oddělení proudu

– Dle ČSN EN 1991-1-4 Obrázek 7.27

Tabulka 5.4. – Tlak větru na povrch zásobníku

Úhel polohy	S. v. tlaku bez vlivu proud. kolem v. k.	Součinitel koncového efektu	Součinitel vnějšího tlaku	Tlak větru na povrch pro z_e
α	c_{p0}	$\psi_{\lambda,\alpha}$	c_{pe}	$W_e(z_e)$ [kN/m ²]
0°	1,000	1	1	0,823
30°	0	1	0	0,000
60°	-1,469	1	-1,469	-1,209
85°	-2,200	1	-2,200	-1,811
90°	-2,156	0,996	-2,147	-1,767
120°	-1,219	0,809	-0,986	-0,812
135°	-0,400	0,65	-0,260	-0,214
150°	-0,400	0,65	-0,260	-0,214
180°	-0,400	0,65	-0,260	-0,214



5.5 Zatížení od náplně (pelety)

Dřevní peleta je produkt dřevozpracující výroby, který spadá pod normu ISO 17225-2, certifikát ENplus a další předpisy. Odpad ve formě hoblin, pilin, prachu a drtě je bezsezbytku zpracováván a lisován do tvaru krátkých válečků délky maximálně padesát milimetrů o průměru šest, osm nebo až dvacet pět milimetrů. Pelety se vyznačují vysokou hustotou, nízkým podílem vody a popele. Spalováním v automatických kotlích je dosaženo vysoké výhřevnosti a splnění emisních limitů až na úrovni 5. emisní třídy.

Obrázek 5.5 – Dřevní pelety



(ilustrační fotografie)

Materiálové vlastnosti plniva (pelet):

Laboratorní výsledky měření pelet z energetické traviny ovsíku vyvýšeného byly poskytnuty pro účely této diplomové práce Centrem energetických jednotek pro využití netradičních zdrojů energie. [48]

Sypká hmotnost

$$\rho_m = 650,1 \text{ kg/m}^3$$

Sypná tíha

$$\gamma = 6,501 \text{ kN/m}^3$$

Úhel tření zrnitého materiálu o stěnu

$$\phi_{im} = 35^\circ$$

Součinitel tření materiálu o stěnu

$$\mu_m = \tan \phi_{im} = \tan 35^\circ = 0,7$$

Referenční součinitel místního zatížení

$$C_{op} = 1,0$$

Poměr bočních tlaků

$$K_m = 1,1 \cdot (1 - \sin \phi_{im}) = 1,1 \cdot (1 - \sin 35^\circ) = 0,47$$

Geometrie zásobníku

- V zásobníku je normální atmosférický tlak.
- Zásobník je klasifikován podle třídy zatížení do Třídy 1 (AAC1).
(Zásobník s obsahem pod 100 tun.)
- Výsypka je kuželová (osově souměrná)
- Probíhá osově plnění i vyprazdňování
- Konstrukce sila zásobníku splňuje geometrická omezení [16].

$r = 2,25 \text{ m}$	Ekvivalentní poloměr zásobníku
$d_c = 2r = 2 \cdot 2,25 = 4,500 \text{ m}$	Vnitřní průměr zásobníku
$\beta = 42^\circ$	Úhel odklonu výsypky od svislice
$U = \pi r = \pi \cdot 2,25 = 14,137 \text{ m}$	Vnitřní obvod zásobníku
$A = \pi r^2 = \pi \cdot 2,25^2 = 15,904 \text{ m}^2$	Vnitřní plocha zásobníku

Výška navršeného materiálu

$$h_{tp} = r \cdot \tan \phi_{im} = 2,25 \cdot \tan 35^\circ = 1,575 \text{ m}$$

Objem navršeného materiálu

$$V_{tp} = \frac{1}{3} \cdot h_{tp} \cdot A = \frac{1}{3} \cdot 1,575 \cdot 15,904 = 8,352 \text{ m}^3$$

Celková výška zásobníku od vrcholu výsypky k ekvivalentnímu povrchu

$$h_c = 9,000 \text{ m} \quad \frac{h_c}{d_c} = \frac{9,0}{4,5} = 2,00 \geq 2 \quad \textbf{Platí – zásobník je štíhlý}$$

Hloubka základny navršeného materiálu pod ekvivalentním povrchem

$$h_o = 0,525 \text{ m}$$

Celková výška zásobníku od vrcholu výsypky k ekvivalentnímu povrchu

$$h_b = 11,499 \text{ m}$$

Výška výsypky od vrcholu k přechodu

$$h_h = 2,499 \text{ m}$$

Objem zásobníku

$$V_c = (h_c - h_o) \cdot A = (9,0 - 0,525) \cdot 15,904 = 134,787 \text{ m}^3$$

Objem výsypky

$$V_h = \frac{1}{3} \cdot h_h \cdot A = \frac{1}{3} \cdot 2,499 \cdot 15,904 = 13,248 \text{ m}^3$$

Celkový užitečný objem zásobníku

$$\sum V = V_{tp} + V_c + V_h = 8,352 + 134,7866 + 13,248 = 156,386 \text{ m}^3$$

Celková hmotnost skladovaného materiálu

$$\sum m = V \cdot \rho_m = 156,386 \cdot 650,1 = 101,667 \text{ Mg} \doteq 100 \text{ tun} \rightarrow \textbf{Zásobník třídy 1}$$

–Silo je pouze dočasné uskladnění. Předpokládá se, že silo bude plně naplněno pouze v řádu několika hodin.

Souměrné zatížení svislých stěn při plnění a vyprazdňování

Janssenova charakteristická hloubka

$$z_0 = \frac{1}{K_m \cdot \mu_m} \cdot \frac{A}{U} = \frac{1}{0,47 \cdot 0,7} \cdot \frac{15,904}{14,137} = 3,425 \text{ m}$$

Asymptotický vodorovný tlak

$$p_{h0} = \gamma \cdot K \cdot z_0 = 6.501 \cdot 0.47 \cdot 3.425 = 0,445 \text{ kPa}$$

Max. výstřednost vrcholu materiálu

$$e = 0,000 \text{ m}$$

Součinitel vyprazdňování pro vodorovný tlak

$$C_h = 1,15 + 1,5(1 + 0,4 e / dc) \text{ Cop} = 2,65$$

Součinitel vyprazdňování pro tření o stěnu

$$C_w = 1,4(1 + 0,4 e / dc) = 1,40$$

Plnění

- Hloubka z_i je proměnný parametr

Variační funkce hloubky Janssenova tlaku

$$Y_{j(z_i)} = 1 - e^{(-z_i/z_0)}$$

Vodorovný tlak

$$p_{hf(z_i)} = p_{h0} \cdot Y_{j(z_i)} \text{ [kPa]}$$

Smykové napětí

$$p_{wf(z_i)} = p_{hf(z_i)} \cdot \mu_m \text{ [kPa]}$$

$$p_{vf(z_i)} = \frac{p_{h0}}{K_m} \cdot Y_{j(z_i)} \text{ [kPa]} \quad \text{Svislý tlak}$$

Vyprazdňování

Vodorovný tlak

$$p_{he(z_i)} = p_{hf(z_i)} \cdot C_h \text{ [kPa]}$$

Smykové napětí

$$p_{we(z_i)} = p_{wf(z_i)} \cdot C_w \text{ [kPa]}$$

Tabulka 5.5.a – Tlak na stěny zásobníku

index	hloubka	variační funkce hloubku Janssenova tlaku	Plnění			Vyprazdňování	
			vodorovný tlak	smykové napětí	svislý tlak	vodorovný tlak	smykové napětí
i	z [m]	Y_j	p_{hf} [kPa]	p_{wf} [kPa]	p_{vf} [kPa]	p_{he} [kPa]	p_{we} [kPa]
0	0,000	0,000	0	0	0	0	0
1	1,000	0,253	2,645	1,852	5,638	7,008	2,592
2	2,000	0,442	4,620	3,235	9,848	12,242	4,529
3	3,000	0,583	6,095	4,267	12,993	16,151	5,974
4	4,000	0,689	7,196	5,039	15,341	19,069	7,054
5	5,000	0,768	8,019	5,615	17,095	21,249	7,861
6	6,000	0,827	8,633	6,045	18,405	22,877	8,463
7	6,500	0,850	8,879	6,217	18,929	23,530	8,704
8	7,000	0,870	9,092	6,366	19,383	24,093	8,913
9	7,500	0,888	9,276	6,495	19,774	24,580	9,093
10	8,000	0,903	9,434	6,606	20,113	25,001	9,248
11	8,500	0,916	9,572	6,702	20,406	25,365	9,383
12	9,000	0,928	9,690	6,785	20,659	25,679	9,499
13	10,300	0,951	9,929	6,952	21,167	26,311	9,733

Souměrné zatížení mělké výsypky

- Pro mělké výsypky platí, že zatížení při vyprazdňování lze uvažovat se stejnými hodnotami jako při plnění [16].

Průměrný svislý tlak na přechodu

$$p_{vft} = C_b \cdot p_{vf,i=13} = 1,6 \cdot 21,167 = 33,867 \text{ kPa}$$

$$C_b = 1,6 \quad \text{Součinitel zvětšujícího zatížení výsypky}$$

$$b = 0,2 \quad \text{Empirický součinitel}$$

$$S = 2,0 \quad \text{Součinitel tvaru výsypky}$$

Součinitel mobilizovaného (účinného) tření

$$\mu_{heff} = \frac{(1 - K_m)}{2 \cdot \tan \beta} = \frac{(1 - 0,47)}{2 \cdot \tan 42^\circ} = 0,295$$

$$\text{Parametr } n = S \cdot (1 - b) \cdot \mu_{heff} \cdot \cot \beta = 2 \cdot (1 - 0,2) \cdot 0,295 \cdot \cot 42^\circ = 0,524$$

Charakteristická hodnota poměru tlaků ve výsypce

$$F_f = 1 - \left\{ \frac{b}{1 + \frac{\tan \beta}{\mu_{heff}}} \right\} = 1 - \left\{ \frac{0,2}{1 + \frac{\tan 42^\circ}{0,295}} \right\} = 0,951$$

Tabulka 5.5.b – Tlak na výsypku

index i	hloubka x [m]	svislé napětí ve skladovaném materiálu p _v [kPa]	vodorovný tlak p _{nf} [kPa]	smýkové napětí p _{tf} [kPa]
0	2,499	33,867	32,196	9,492
1	2,249	33,628	31,969	9,425
2	1,999	33,190	31,552	9,303
3	1,749	32,515	30,911	9,114
4	1,499	31,551	29,995	8,843
5	1,249	30,224	28,773	8,471
6	1,000	28,419	27,017	7,966
7	0,750	25,946	24,666	7,272
8	0,500	22,433	21,327	6,288
9	0,250	16,936	16,101	4,747
10	0,000	0,000	0,000	0,000

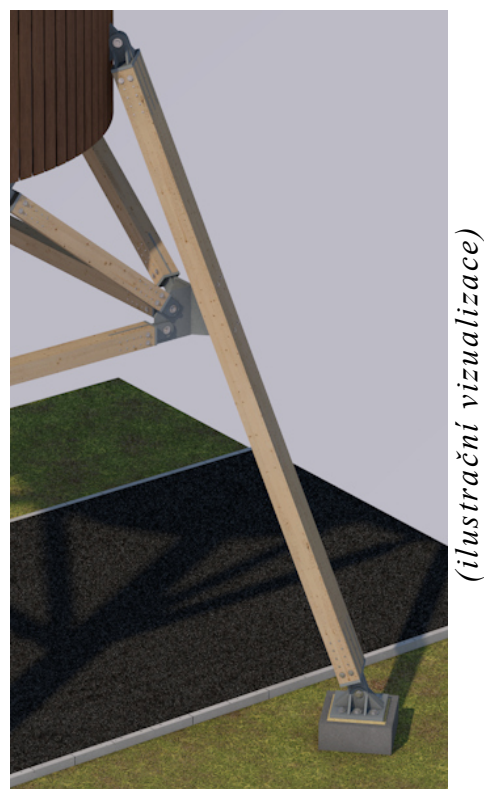
6. Návrh a posouzení prvků sila

6.1 Podstava

6.1.1 Sloup podstavy

Šikmý nosník podstavy byl navržen z LLD průřezu 260×500 mm třídy pevnosti GL32h. Ze statického hlediska se jedná o prostý nosník. Nosník je v patě podepřen pevným čepovým ložiskem, v hlavě je napojen čepovým spojem. Čepy jsou otočné (okolo tangenty osy konstrukce sila) ve směru φ_r . Vzpěrná délka nosníku vzhledem k radiální rovině sila oblouku byla uvažována jako $L_{cr,z} = 7,364$ m vzpěrná délka z radiální roviny sila je dána nejdelší (dolní) částí sloupu mezi napojením vzpěr a podporou $L_{cr,y} = l = 4,253$ m. Posudek byl proveden na smyk a na kombinaci dvojsoého ohybu se vzpěrným tlakem.

Obrázek 6.1.1 – Sloup podstavy



(ilustrační vizualizace)

Vnitřní síly

Maximální normálová síla je současně s maximálními momenty v místě napojení vzpěr. Posouvající síla je maximálními v místě napojení vzpěr.

Tabulka 6.1.1 – Sloup podstavy - vnitřní síly

	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
Stálé zatížení	-98,69	5,41	10,00	0,00
Tíha náplně	-271,58	15,30	28,50	0,00
Kombinace zatížení sněhem	-12,06	0,54	1,01	0,46
Kombinace zatížení větrem na střechu	-4,60	0,11	0,45	0,68
Zatížení větrem na fasádu	-5,20	0,21	0,41	0,41

Kombinace zatížení

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$1,35 \cdot G_{\text{STALE},k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{NÁPLŇ},k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{SNÍH},k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{VÍTR},k}$$

$$N_{\text{Ed,max}} = 1,35 \cdot (-98,69) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-271,58) + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (-12,06) + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (-4,6 - 5,2) = -560,28 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Ed,z,přísl}} = 1,35 \cdot 0 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,46 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0,68 + 0,41) = 1,40 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Ed,y,přísl}} = 1,35 \cdot 10 + 1,5 \cdot 28,5 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 1,01 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0,45 + 0,41) = 57,92 \text{ kNm}$$

$$V_{\text{Ed}} = 1,35 \cdot 5,41 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 15,3 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,54 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0,11 + 0,21) = 35,10 \text{ kN}$$

Průřezové charakteristiky

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 260 \text{ mm}$$

$$A = b \cdot h = 500 \cdot 260 = 1,30 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 500 \cdot 260^3 = 7,32 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 260 \cdot 500^3 = 2,71 \cdot 10^9 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 500 \cdot 260^2 = 5,63 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 260 \cdot 500^2 = 1,08 \cdot 10^7 \text{ mm}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{7,32 \cdot 10^8}{1,30 \cdot 10^5}} = 75,06 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{2,71 \cdot 10^9}{1,30 \cdot 10^5}} = 144,34 \text{ mm}$$

Materiálové charakteristiky

Lepené lamelové dřevo GL32h („h“ – jedná se o homogenní skladbu nosníku)

$$f_{m,k} = 32,0 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 29,0 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 10800 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1,25$$

$$k_{\text{mod}} = 0,7 \text{ (krátkodobé zatížení)}$$

$$k_m = 0,7 \text{ (součinitel vlivu nehomogenit a redistribuce napětí)}$$

$$k_{\text{cr}} = 0,67 \text{ (součinitel vlivu výsušných trhlin)}$$

Posudek na kombinaci dvojosého ohybu a vzpěrného tlaku

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{\text{Ed},y}}{W_y} = \frac{5,79 \cdot 10^4}{5,63 \cdot 10^6} = 10,282 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{\text{Ed},z}}{W_z} = \frac{1,4 \cdot 10^3}{1,08 \cdot 10^7} = 0,129 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{\text{Ed}}}{A} = \frac{5,6 \cdot 10^5}{1,30 \cdot 10^5} = 4,310 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 32}{1,25} = 17,920 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 29}{1,25} = 16,240 \text{ MPa}$$

$$L_{\text{cr},y} = 4,253 \text{ m}$$

$$L_{\text{cr},z} = l = 7,364 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{\text{cr},y}}{i_y} = \frac{4253}{75,06} = 56,665$$

$$\lambda_z = \frac{L_{\text{cr},z}}{i_z} = \frac{7364}{144,34} = 51,019$$

$$\lambda_{\text{rel},y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{56,665}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{29,0}{10800}} = 0,935$$

$$\lambda_{\text{rel},z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{51,019}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{29,0}{10800}} = 0,842$$

$$\beta_c = 0,1 \text{ (0,1 platí pro LLD)}$$

$$\begin{aligned} k_y &= 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel},y} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},y}^2) \\ &= 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,935 - 0,3) + 0,935^2) = 0,969 \end{aligned}$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel},z} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},z}^2) \\ = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,842 - 0,3) + 0,842^2) = 0,881$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel},y}^2}} = \frac{1}{0,969 + \sqrt{0,969^2 - 0,935^2}} = 0,818$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{\text{rel},z}^2}} = \frac{1}{0,881 + \sqrt{0,881^2 - 0,842^2}} = 0,875$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{\text{rel},z} \leq 0,3; \lambda_{\text{rel},y} \leq 0,3\}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{\text{rel},z} \leq 0,3; \lambda_{\text{rel},y} \leq 0,3\}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{\text{rel},z} > 0,3; \lambda_{\text{rel},y} > 0,3\}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{\text{rel},z} > 0,3; \lambda_{\text{rel},y} > 0,3\}$$

$$\frac{4,310}{0,875 \cdot 16,240} + 0,7 \cdot \frac{10,282}{17,920} + \frac{0,129}{17,920} \leq 1 \Rightarrow 0,712 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\frac{4,310}{0,818 \cdot 16,240} + \frac{10,282}{17,920} + 0,7 \cdot \frac{0,129}{17,920} \leq 1 \Rightarrow 0,903 \leq 1$$

VYHOVUJE**Posudek na smyk**

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{\text{Ed}}}{2 \cdot k_{\text{cr}} \cdot A} = \frac{3 \cdot 3,51 \cdot 10^4}{2 \cdot 0,67 \cdot 1,30 \cdot 10^5} = 0,604 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 3,5}{1,25} = 1,960 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = 0,604 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,960 \text{ MPa}$$

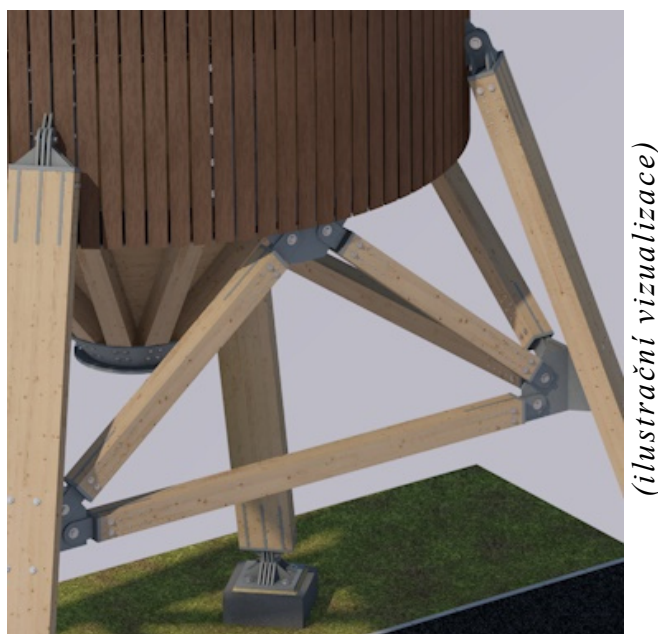
VYHOVUJE

6.1.2 Vzpěra podstavy

Vzpěra podstavy je navržena z LLD průřezu 180×180 mm třídy pevnosti GL32h. Ze statického hlediska se jedná o prostý nosník. Nosník je na obou koncích napojen čepovým spojem. Čepy jsou otočné (okolo lokálního souřadného systému, osy „y“) ve směru φ_y . Vzpěrná délka nosníku byla uvažována jako

$L_{cr,y} = L_{cr,z} = l = 3,233$ m. Posudek byl proveden na smyk a na kombinaci dvojosého ohybu se vzpěrným tlakem.

Obrázek 6.1.2 – Vzpěra podstavy



(ilustrační vizualizace)

Vnitřní síly

Tabulka 6.1.2 – Vzpěra podstavy - vnitřní síly

	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
Stálé zatížení	-22,29	3,85	0,27	3,11
Tíha náplně	-106,78	0,00	1,56	0,00
Kombinace zatížení sněhem	-3,85	0,00	0,01	0,00
Kombinace zatížení větrem na střechu	-0,70	0,00	0,04	0,00
Zatížení větrem na fasádu	-2,48	0,00	0,18	0,00

Kombinace zatížení

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$1,35 \cdot G_{STALE,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{NÁPLŇ,k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{SNÍH,k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{VÍTR,k}$$

$$N_{Ed,max} = 1,35 \cdot (-22,29) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-106,78) + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (-3,85) + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (-0,7 - 2,48) \\ = -196,59 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z,přísl} = 1,35 \cdot 3,11 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0 + 0) = 4,20 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Ed},y,\text{přisl}} = 1,35 \cdot 0,27 + 1,5 \cdot 1,56 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,01 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0,04 + 0,18) = 2,91 \text{ kNm}$$

$$V_{\text{Ed}} = 1,35 \cdot 3,85 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0 + 0) = 5,20 \text{ kN}$$

Průřezové charakteristiky

$$b = 180 \text{ mm}; \quad h = 180 \text{ mm}$$

$$A = b \cdot h = 180^2 = 3,24 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I_y = I_z = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 180^4 = 8,75 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_z = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 180^3 = 9,72 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_y = i_z = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{8,75 \cdot 10^7}{3,24 \cdot 10^4}} = 51,96 \text{ mm}$$

Materiálové charakteristiky

(Rostlé dřevo GL32h („h“ – jedná se o homogenní skladbu nosníku))

$$f_{m,k} = 32,0 \text{ MPa}; \quad f_{c,0,k} = 29,0 \text{ MPa}; \quad f_{v,k} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 10800 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1,25$$

$$k_{\text{mod}} = 0,65 \text{ (střednědobé zatížení)}$$

$$k_m = 0,7 \text{ (součinitel vlivu nehomogenit a redistribuce napětí)}$$

$$k_{\text{cr}} = 0,67 \text{ (součinitel vlivu výsušných trhlin)}$$

Posudek na kombinaci dvojosého ohybu a vzpěrného tlaku

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{\text{Ed},y}}{W_y} = \frac{2,91 \cdot 10^3}{9,72 \cdot 10^5} = 2,995 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{\text{Ed},z}}{W_z} = \frac{4,20 \cdot 10^3}{9,72 \cdot 10^5} = 4,319 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{\text{Ed}}}{A} = \frac{1,97 \cdot 10^5}{3,24 \cdot 10^4} = 6,068 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 32}{1,25} = 16,640 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 29}{1,25} = 15,080 \text{ MPa}$$

$$L_{\text{cr},y} = L_{\text{cr},z} = l = 3,233 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{L_{cr,y,z}}{i_y} = \frac{3233}{51,96} = 62,219$$

$$\lambda_{rel,y} = \lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_{y,z}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{62,219}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{29,0}{10800}} = 1,026$$

$$\beta_c = 0,1 \text{ (0,1 platí pro LLD)}$$

$$k_y = k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y,z} - 0,3) + \lambda_{rel,y,z}^2) \\ = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,026 - 0,3) + 1,026^2) = 1,063$$

$$k_{c,y} = k_{c,z} = \frac{1}{k_{y,z} + \sqrt{k_{y,z}^2 - \lambda_{rel,y,z}^2}} = \frac{1}{1,063 + \sqrt{1,063^2 - 1,026^2}} = 0,746$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{rel,z} \leq 0,3; \lambda_{rel,y} \leq 0,3\}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{rel,z} \leq 0,3; \lambda_{rel,y} \leq 0,3\}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{rel,z} > 0,3; \lambda_{rel,y} > 0,3\}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{rel,z} > 0,3; \lambda_{rel,y} > 0,3\}$$

$$\frac{6,068}{0,746 \cdot 15,080} + 0,7 \cdot \frac{2,995}{16,640} + \frac{4,319}{16,640} \leq 1 \Rightarrow 0,925 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\frac{6,068}{0,746 \cdot 15,080} + \frac{2,995}{16,640} + 0,7 \cdot \frac{4,319}{16,640} \leq 1 \Rightarrow 0,907 \leq 1$$

VYHOVUJE**Posudek na smyk**

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot k_{cr} \cdot A} = \frac{3 \cdot 5,20 \cdot 10^3}{2 \cdot 0,67 \cdot 3,24 \cdot 10^4} = 0,359 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 3,5}{1,25} = 1,820 \text{ MPa}$$

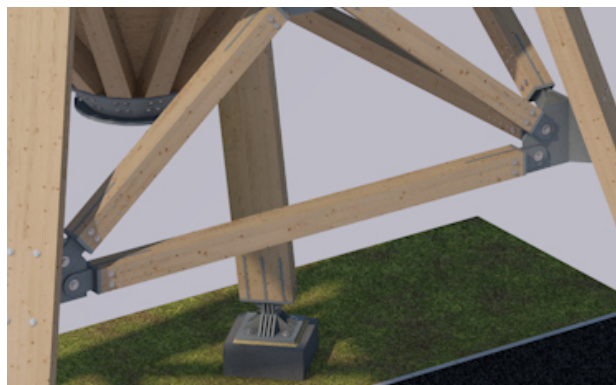
$$\tau_{v,d} = 0,359 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,820 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

6.1.3 Táhlo podstavy

Táhlo podstavy bylo navrženo z LLD průřezu 180×180 mm třídy pevnosti GL32h. Ze statického hlediska se jedná o prostý nosník, který je tažený. Nosič je na obou koncích napojen čepovým spojem. Čepy jsou otočné (okolo lokálního souřadného systému, osy „y“) ve směru φ_y . Délka nosníku je $l = 5,00$ m. Posudek byl proveden na smyk a na kombinaci osového tahu s dvojosým ohybem.

Obrázek 6.1.3 – Táhlo podstavy



(ilustrační vizualizace)

Kombinace zatížení

Tabulka 6.1.3 – Táhlo podstavy - vnitřní síly

	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
Stálé zatížení	4,31	7,7	0,00	0,43
Tíha náplně	57,15	0,00	0,03	0,00
Kombinace zatížení sněhem	2,06	0,00	0,03	0,00
Kombinace zatížení větrem na střechu	0,65	0,00	0,19	0,00
Zatížení větrem na fasádu	0	0,00	0,03	0,00

Vnitřní síly

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$1,35 \cdot G_{STALE,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{NÁPLŇ,k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{SNÍH,k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{VÍTR,k}$$

$$N_{Ed,max} = 1,35 \cdot 4,31 + 1 \cdot 1,5 \cdot 57,15 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 2,06 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0,65 + 0) = 93,98 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,z,přísl} = 1,35 \cdot 0,43 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0 + 0) = 0,58 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,y,přísl} = 1,35 \cdot 0 + 1,5 \cdot 0,0 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,03 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0,19 + 0,03) = 0,23 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot 7,7 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0 + 0) = 10,395 \text{ kN}$$

Průřezové charakteristiky

$$b = 180 \text{ mm}$$

$$h = 180 \text{ mm}$$

$$A = b \cdot h = 180^2 = 3,24 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I_y = I_z = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 180^4 = 8,75 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_z = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 180^3 = 9,72 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_y = i_z = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{8,75 \cdot 10^7}{3,24 \cdot 10^4}} = 51,96 \text{ mm}$$

Materiálové charakteristiky

- Rostlé dřevo GL32h („h“ – jedná se o homogenní skladbu nosníku)

$$f_{m,k} = 32,0 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 22,5 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 10800 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1,25$$

$$k_{mod} = 0,65 \text{ (střednědobé zatížení)}$$

$$k_{cr} = 0,67 \text{ (součinitel vlivu výsušných trhlin)}$$

Posudek na kombinaci ohybu a osového tahu

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 22,5}{1,25} = 11,700 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 32}{1,25} = 16,640 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y} = \frac{5,81 \cdot 10^2}{9,72 \cdot 10^5} = 0,231 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z} = \frac{2,25 \cdot 10^2}{9,72 \cdot 10^5} = 0,597 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{9,40 \cdot 10^4}{3,24 \cdot 10^4} = 2,901 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{2,901}{11,700} + 0,7 \cdot \frac{0,231}{16,640} + \frac{0,597}{16,640} \leq 1 \Rightarrow 0,294 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{2,901}{11,700} + \frac{0,231}{16,640} + 0,7 \cdot \frac{0,597}{16,640} \leq 1 \Rightarrow 0,287 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posudek na smyk

$$V_{Ed} = 10,40 \text{ kN} = 1,04 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot k_{cr} \cdot A} = \frac{3 \cdot 1,04 \cdot 10^4}{2 \cdot 0,67 \cdot 3,24 \cdot 10^4} = 0,718 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 3,5}{1,25} = 1,820 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = 0,718 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,820 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

6.2 Tělo zásobníku

6.2.1 Vnější plášť

Vnější plášť tvoří svislá prkna 144x24mm, mezi prkny je vzduchová mezera cca. 5~10mm. Prkna nejsou podélně nadstavována. Prkno je přišroubováno do každého vodorovného prstence dvěma vruty. Osová vzdálenost prstenců bude 500mm nebo 1000mm. Staticky je vnější opláštění idealizováno jako spojitý nosník o dvou a více polích. Největší

Obrázek 6.2.1.a – Prkno vnějšího pláště



(ilustrační fotografie)

moment vznikne u dvupolého nosníku nad vnitřní podporou. Dominantním zatížením je sání větru. Předpokládá se zatížení rovnoměrným spojitým větrem po celé výšce sila současně, tudíž nevzniká šachovnicové rozdělení zatížení.

Návrh: deska smrková C24, $b=144\text{ mm}$ $h=24\text{ mm}$.

Zatížení: Max sání od větru činí $-1,721\text{ kN/m}^2$

Průřezové charakteristiky

$$b = 144\text{ mm}$$

$$h = 22\text{ mm}$$

$$A = b \cdot h = 144 \cdot 22 = 3,16 \cdot 10^3\text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 144 \cdot 22^3 = 1,28 \cdot 10^5\text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 144 \cdot 22^2 = 1,16 \cdot 10^4\text{ mm}^3$$

Materiálové charakteristiky

– Rostlé dřevo C24

$$f_{m,k} = 24,0\text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 14,0 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 4,0 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$k_{\text{mod}} = 0,7 \text{ (krátkodobé zatížení)}$$

$$k_{\text{cr}} = 0,67 \text{ (součinitel vlivu výsušných trhlin)}$$

Vnitřní síly

Příčné zatížení

- Zatížení větrem

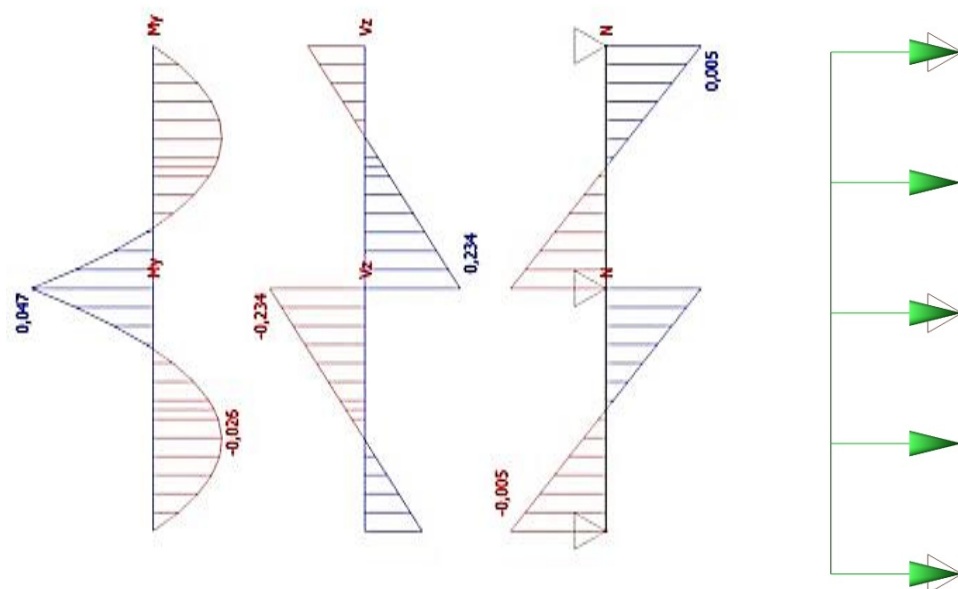
$$q_d = b \cdot q_k \cdot \gamma_q = 0,144 \cdot 1,721 \cdot 1,5 = 0,375 \text{ kN/m}$$

Podélné Zatížení

- Zatížení vlastní tíhou

$$g_d = q_k \cdot \gamma_g = (3,5 \cdot 0,144 \cdot 0,022) \cdot 1,35 = 0,015 \text{ kN/m}$$

Obrázek 6.2.1.b – Vnější plášť - vnitřní síly



Tabulka 6.2.1 – Vnější plášť - vnitřní síly

	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
Zatížení větrem na fasádu	0,007	0,234	0,047	0,00

Posudek na kombinaci ohybu a osového tahu

$$M_{y,Ed} = 0,047 \text{ kNm} = 4,7 \cdot 10^1 \text{ Nm}$$

$$N_{přisl.} = 0,007 \text{ kN} = 7,0 \cdot 10^0 \text{ N}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{4,7 \cdot 10^1}{1,16 \cdot 10^4} = 4,046 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{přisl.}}{A} = \frac{7,0 \cdot 10^0}{3,16 \cdot 10^3} = 0,002 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 24}{1,3} = 12,923 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 14}{1,3} = 7,538 \text{ MPa}$$

Posudek:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \Rightarrow \frac{0,002}{7,538} + \frac{4,046}{12,923} = 0,077 \leq 1$$

VYHOVUJE**Posudek na smyk**

$$V_{Ed} = 0,234 \text{ kN} = 2,34 \cdot 10^2 \text{ N}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot k_{cr} \cdot A} = \frac{3 \cdot 2,34 \cdot 10^2}{2 \cdot 0,67 \cdot 3,16 \cdot 10^3} = 0,165 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 4}{1,3} = 2,154 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = 0,165 \text{ MPa} < f_{v,d} = 2,154 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

6.2.2 Vnitřní plášť

Vnitřní plášť tvoří svislé velkoplošné vícevrstvé panely typu CLT. Panely jsou uloženy na svislé sloupky zásobníku. Povrchová vrstva lamel je orientována kolmo na sloupky. Referenční šířka pro výpočet je 1000mm. Panel je uložen kloubově. Panely jsou délkově nadstavovány pomocí lepeného ozubu, tak aby bylo zajištěno spolupůsobení. Kotvení bude vruty do svislých sloupků a vodorovných prstenců. Hrany CLT panelů jsou zkoseny tak aby navzájem k sobě těsně přiléhaly.

Návrh: NOVATOP SOLID 81L, C24, $h=81$ mm.

Zatížení: Vyprazdňování

Průřezové charakteristiky

- NOVATOP SOLID 81L
- konstrukce panelu: 3 x (9p – 9q – 9p)

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 81 \text{ mm}$$

$$A = b \cdot h = 1000 \cdot 81 = 8,1 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 3,13 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 6,74 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$\rho_k = 490 \text{ kg/m}^3$$

Geometrie

- Osová vzdálenost podpor $l = 1,268$ m
- Uložení $l_b = 0,04$ m
- Rozpětí $l_{ef} = l - 2 \cdot l_b/2 = 1,268 - 0,04 = 1,228$ m

Materiálové charakteristiky

- Lepené dřevo C24

$$f_{m,k} = 24,0 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 4,0 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1,25$$

$$k_{mod} = 0,65 \text{ (střednědobé zatížení)}$$

$$k_{cr} = 0,67 \text{ (součinitel vlivu výsušných trhlin)}$$

Vnitřní síly

– Příčné zatížení - Vodorovný tlak při vyprazdňování

$$q_d = b \cdot q_k \cdot \gamma_q = 1,0 \cdot 24,972 \cdot 1,5 = 37,458 \text{ kN/m}$$

$$M_{y,Ed} = \frac{1}{8} \cdot (q_d + g_d) \cdot l_{ef}^2 = \frac{1}{8} \cdot (37,458 + 0) \cdot 1,248^2 = 7,061 \text{ kNm} = 7,06 \cdot 10^3 \text{ Nm}$$

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (q_d + g_d) \cdot l_{ef} = \frac{1}{2} \cdot (37,458 + 0) \cdot 1,248 = 22,999 \text{ kN} = 2,30 \cdot 10^4 \text{ N}$$

Tabulka 6.2.2 – Vnitřní plášť - vnitřní síly

	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
Zatížení větrem na fasádu	0,00	23,00	7,061	0,00

Posudek na prostý ohyb

$$M_{y,Ed} = \frac{1}{8} \cdot (q_d + g_d) \cdot l_{ef}^2 = \frac{1}{8} \cdot (37,458 + 0) \cdot 1,248^2 = 7,061 \text{ kNm}$$

$$= 7,06 \cdot 10^3 \text{ Nm}$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{7,06 \cdot 10^3}{6,74 \cdot 10^5} = 10,476 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 24}{1,25} = 12,480 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \Rightarrow \frac{10,476}{12,480} = 0,839 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posudek na smyk

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot k_{cr} \cdot A} = \frac{3 \cdot 2,30 \cdot 10^4}{2 \cdot 0,67 \cdot 8,1 \cdot 10^4} = 0,636 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 4}{1,25} = 2,080 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = 0,636 \text{ MPa} < f_{v,d} = 2,080 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

6.2.3 Sloupky

Vnitřní síly

Posouvající síla je maximálními v místě napojení prvního prstence.

Tlak v kombinaci s ohybem v uložení na ocelovou skruž.

Tabulka 6.2.3 – Sloupek zásobníku - vnitřní síly

	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
Stálé zatížení	-14,48	9,91	5,09	0,10
Kombinace zatížení vyprazdňování	-92,81	31,35	7,02	0,53
Kombinace zatížení sněhem	-8,27	1,38	0,68	0,04
Kombinace zatížení větrem na střechu	-4,11	0,85	0,23	0,10
Zatížení větrem na fasádu	-5,48	0,67	0,48	0,01

Kombinace zatížení D, S, WF, WE

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

– Nejnepriznivější z hlediska extrémních vnitřních sil je kombinace D.

Kombinace D – Vyprazdňování

$$1,35 \cdot G_{STALE,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{VYPRAZDNOVANI,k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{SNÍH,k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{VÍTR,k}$$

Kombinace S – Sníh

$$1,35 \cdot G_{STALE,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{SNÍH,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{PLNENI,k}$$

Kombinace WF – Vítr a plný zásobník

$$1,35 \cdot G_{STALE,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{VÍTR,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{PLNENI,k}$$

Kombinace WE – Vítr a prázdný zásobník

$$1,35 \cdot G_{STALE,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{VÍTR,k}$$

$$N_{Ed,min} = 1,35 \cdot (-14,48) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-92,81) + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (-8,27) + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (-4,11 - 5,48) = -131,13 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y,přísl} = 1,35 \cdot 5,09 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 7,02 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,68 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0,23 + 0,48) = 13,99 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z,přísl} = 1,35 \cdot 0,1 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,53 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,04 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0,1 + 0,01) = 0,080 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot 9,91 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 31,35 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 1,38 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0,85 + 0,67) \\ = 47,26 \text{ kN}$$

Průřezové charakteristiky

$$b = 80 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$A = b \cdot h = 80 \cdot 300 = 2,40 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 80 \cdot 300^3 = 1,80 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 80^3 = 1,28 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 80 \cdot 300^2 = 1,20 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 300 \cdot 80^2 = 3,20 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Materiálové charakteristiky

Lepené lamelové dřevo GL32h („h“ – jedná se o homogenní skladbu nosníku)

$$f_{m,k} = 32,0 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 29,0 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 10800 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1,25$$

$$k_{mod} = 0,65 \text{ (střednědobé zatížení)}$$

$$k_m = 0,7 \text{ (součinitel vlivu nehomogenit a redistribuce napětí)}$$

$$k_{cr} = 0,67 \text{ (součinitel vlivu výsušných trhlin)}$$

Posudek na kombinaci dvojsoého ohybu a vzpěrného tlaku

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W_y} = \frac{1,40 \cdot 10^{-2}}{1,20 \cdot 10^{-3}} = 11,658 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z} = \frac{7,99 \cdot 10^{-4}}{3,20 \cdot 10^{-4}} = 2,496 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{1,31 \cdot 10^{-1}}{2,40 \cdot 10^{-2}} = 5,464 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 32}{1,25} = 16,640 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 29}{1,25} = 15,080 \text{ MPa}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\left(\frac{5,464}{15,080} \right)^2 + 0,7 \cdot \frac{11,658}{16,640} + \frac{2,496}{16,640} \leq 1 \Rightarrow 0,937 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\left(\frac{5,464}{15,080} \right)^2 + \frac{11,658}{16,640} + 0,7 \cdot \frac{2,496}{16,640} \leq 1 \Rightarrow 0,772 \leq 1$$

VYHOVUJE**Posudek sloupku ve smyku**

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot k_{cr} \cdot A} = \frac{3 \cdot 4,73 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 0,67 \cdot 2,40 \cdot 10^{-2}} = 4,409 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 3,5}{1,25} = 1,820 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = 4,409 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,820 \text{ MPa}$$

NEVYHOVÝ

- Sloupek nevyhověl na smyk! Styčnickový plech mezi skruží a sloupkem bude nedimenzován, aby tento smyk přenesl. Plech bude délky minimálně 700mm (od sloupku na skruži po první prstenec)

Posudek styčnickového plechu ve smyku

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{4,73 \cdot 10^{-2}}{0,005 \cdot 0,3} = 31,533 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Rd} = \frac{f_y}{\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}} = \frac{355}{\sqrt{3} \cdot 1,00} = 269,74 \text{ MPa}$$

$$\tau_{Ed} = 31,53 \text{ MPa} < f_{v,d} = 269,74 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

6.2.4 Prstence

Vnitřní síly

Posouvající síla je maximálními v místě napojení na sloupek.

Tlak v kombinaci s ohybem v napojení na sloupek.

Tabulka 6.2.4 – Prstenec zásobníku - vnitřní síly

	N_{Ed} [kN]	$V_{Ed,y}$ [kN]	$V_{Ed,z}$ [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
Stálé zatížení	-9,89	2,45	0,52	-0,33	2,41
Kombinace zatížení vyprazdňování	46,73	11,54	1,63	1,04	0,53
Kombinace zatížení sněhem	0,89	0,80	0,35	0,17	0,78
Kombinace zatížení větrem na střechu	2,20	2,61	0,24	0,03	2,47
Zatížení větrem na fasádu	0,75	0,81	0,35	0,23	0,53

Kombinace zatížení D, S, WF, WE

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

– Nejnepríznivější z hlediska extrémních vnitřních sil je kombinace D.

Kombinace D – Vyprazdňování

$$1,35 \cdot G_{STALE,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{VYPRAZDNOVANI,k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{SNÍH,k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{VÍTR,k}$$

Kombinace S – Sníh

$$1,35 \cdot G_{STALE,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{SNÍH,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{PLNENI,k}$$

Kombinace WF – Vítr a plný zásobník

$$1,35 \cdot G_{STALE,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{VÍTR,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{PLNENI,k}$$

Kombinace WE – Vítr a prázdný zásobník

$$1,35 \cdot G_{STALE,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{VÍTR,k}$$

$$N_{Ed,min} = 1,35 \cdot (-9,89) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 46,73 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,89 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (2,2 + 0,75) \\ = 60,20 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y,přísl} = 1,35 \cdot (-0,33) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,04 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,17 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0,03 + 0,23) \\ = 1,549 \text{ kN kNm}$$

$$M_{\text{Ed},z,\text{přisl}} = 1,35 \cdot 2,41 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,53 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,78 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (2,47 + 0,53) \\ = 5,588 \text{ kNm}$$

$$V_{\text{Ed},y} = 1,35 \cdot 2,45 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 11,54 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,8 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (2,61 + 0,81) \\ = 18,312 \text{ kN}$$

$$V_{\text{Ed},z} = 1,35 \cdot 0,52 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,63 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,35 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0,24 + 0,35) = 2,99 \text{ kN}$$

Průřezové charakteristiky

$$b = 100 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$A = b \cdot h = 1000 \cdot 300 = 3,00 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 100 \cdot 300^3 = 2,25 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 100^3 = 2,58 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 100 \cdot 300^2 = 1,50 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 300 \cdot 100^2 = 5,00 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Materiálové charakteristiky

Lepené lamelové dřevo GL32h („h“ – jedná se o homogenní skladbu nosníku)

$$f_{m,k} = 32,0 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 29,0 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 10800 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1,25$$

$$k_{\text{mod}} = 0,65 \text{ (střednědobé zatížení)}$$

$$k_m = 0,7 \text{ (součinitel vlivu nehomogenit a redistribuce napětí)}$$

$$k_{\text{cr}} = 0,67 \text{ (součinitel vlivu výsušných trhlin)}$$

Posudek na kombinaci dvojosého ohybu a vzpěrného tlaku

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{\text{Ed},y}}{W_y} = \frac{1,55 \cdot 10^{-3}}{1,50 \cdot 10^{-3}} = 1,033 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W_z} = \frac{5,59 \cdot 10^{-3}}{5,00 \cdot 10^{-4}} = 11,176 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A} = \frac{6,02 \cdot 10^{-2}}{3,00 \cdot 10^{-2}} = 2,007 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 32}{1,25} = 16,640 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 22,5}{1,25} = 11,700 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{2,007}{11,700} + 0,7 \cdot \frac{1,033}{16,640} + \frac{11,176}{16,640} \leq 1 \Rightarrow 0,704 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\frac{2,007}{11,700} + \frac{1,033}{16,640} + 0,7 \cdot \frac{11,176}{16,640} \leq 1 \Rightarrow 0,887 \leq 1$$

VYHOVUJE**Posudek prstence na smyk**

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot k_{cr} \cdot A} = \frac{3 \cdot 1,83 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 0,67 \cdot 3,00 \cdot 10^{-2}} = 1,367 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 3,5}{1,25} = 1,820 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = 1,367 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,820 \text{ MPa}$$

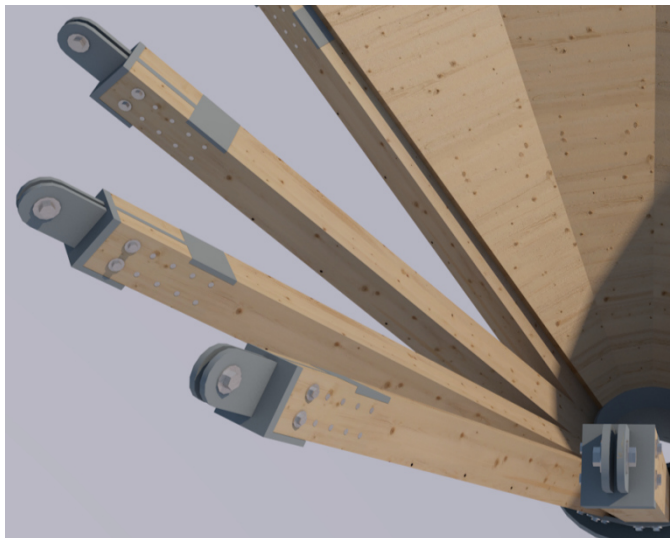
VYHOVUJE

6.3 Výsypka

6.3.1 Žebro výsypky

Žebro výsypky je navrženo z LLD průřezu 200×300 mm třídy pevnosti GL32h. Ze statického hlediska se jedná o prostý nosník. Šikmý nosník (žebro výsypky) je v hlavě podepřen pevným čepovým ložiskem, v patě je napojen kolíkovým spojem na prstencovou spojku žeber. Prstencová spojka je styčnickové plech procházející přes všechny žebra. Čep v hlavě je otočný

Obrázek 6.3.1 – Žebro výsypky



(ilustrační vizualizace)

(okolo tangenty osy kce. síla) ve směru φ_τ . Vzpěrná délka nosníku vzhledem k radiální rovině síla je uvažována jako $L_{cr,y} = 2,600$ m a vzpěrná délka z radiální roviny síla není, jelikož je po celé délce hranol zajištěn opláštěním výsypky.

Vnitřní síly

Tabulka 6.3.1 – Žebro výsypky - vnitřní síly

	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
Maximální tah v uložení				
Stálé zatížení	19,08 (-17,15)	2,7	0,00	0,00
Kombinace zatížení plnění	71,85 (-38,93)	47,34	0,00	0,00
Tah v kombinaci s ohybem				
Stálé zatížení	0	0,00	1,76	16,09
Kombinace zatížení plnění	0	0,00	20,12	59,22
Tlak v kombinaci s ohybem a vzpěrem				
Stálé zatížení	-14,15	0,00	0,00	1,76
Kombinace zatížení plnění	-30,06	0,00	0,00	20,12

Kombinace zatížení

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$1,35 \cdot G_{\text{STALE},k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{PLNENI/PRAZDNENI},k}$$

Maximální tah v uložení

$$N_{\text{Ed,max}} = 1,35 \cdot +19,08 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 71,85 = 133,53 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Ed,z,přísl}} = 0,00 \text{ kNm} \quad M_{\text{Ed,y,přísl}} = 0,00 \text{ kNm}$$

Maximální tlak v uložení

$$N_{\text{Ed,min}} = 1,35 \cdot 17,15 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 38,93 = 81,55 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Ed,z,přísl}} = 0,00 \text{ kNm} \quad M_{\text{Ed,y,přísl}} = 0,00 \text{ kNm}$$

Tah v kombinaci s ohybem

$$M_{\text{Ed,z,max}} = 1,35 \cdot 0 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0 = 0,0 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Ed,y,max}} = 1,35 \cdot 1,76 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 20,12 = 32,56 \text{ kNm}$$

$$N_{\text{Ed,přísl}} = 1,35 \cdot 16,09 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 59,22 = 110,55 \text{ kN}$$

Tlak v kombinaci s ohybem a vzpěrem

$$M_{\text{Ed,z,max}} = 1,35 \cdot 0 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0 = 0,0 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Ed,y,max}} = 1,35 \cdot 1,76 + 1,5 \cdot 20,12 = 32,56 \text{ kNm}$$

$$N_{\text{Ed,přísl}} = 1,35 \cdot (-14,15) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-30,06) = 64,19 \text{ kN}$$

Posouvající síla je maximálními v místě čepového kloubu.

$$V_{\text{Ed}} = 1,35 \cdot 2,7 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 29,13 = 47,34 \text{ kN}$$

Průřezové charakteristiky

$$b = 200 \text{ mm}$$

$$h = 300 \text{ mm}$$

$$A = b \cdot h = 200 \cdot 300 = 6,00 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 200 \cdot 300^3 = 4,50 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 300 \cdot 200^3 = 2,00 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 200 \cdot 300^2 = 3,00 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 300 \cdot 200^2 = 2,00 \cdot 10^6 \text{ mm}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{4,50 \cdot 10^8}{6,00 \cdot 10^4}} = 86,60 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{2,00 \cdot 10^8}{6,00 \cdot 10^4}} = 57,74 \text{ mm}$$

Materiálové charakteristiky

- Rostlé dřevo GL32h („h“ – jedná se o homogenní skladbu nosníku)

$$f_{m,k} = 32,0 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 29,0 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,k} = 22,5 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 3,5 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 10800 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1,25$$

$$k_{\text{mod}} = 0,65 \text{ (střednědobé zatížení)}$$

$$k_{\text{def}} = 2,0 \text{ (součinitel zvětšování deformací následkem dotvarování)}$$

$$k_m = 0,7 \text{ (součinitel vlivu nehomogenit a redistribuce napětí)}$$

$$k_{\text{cr}} = 0,67 \text{ (součinitel vlivu výsušných trhlin)}$$

Posudek v tahu

- Maximální tah v uložení

$$N_{\text{Ed}} = 133,53 \text{ kN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{\text{Ed}}}{A} = \frac{0,134}{6,00 \cdot 10^{-2}} = 2,23 \text{ MPa}$$

$$f_{t,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{t,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 22,5}{1,25} = 11,70 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{t,0,d} = 2,23 \text{ MPa} < f_{t,0,d} = 11,70 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Posudek v tahu v kombinaci s ohybem

- Maximální moment v poli s příslušnou normálovou silou

$$M_{\text{Ed},y} = 32,56 \text{ kN} = 3,25 \cdot 10^{-2} \text{ MN}; \quad N_{\text{Ed}} = 110,55 \text{ kN} = 1,10 \cdot 10^{-1} \text{ MN}$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{\text{Ed}}}{A} = \frac{1,10 \cdot 10^{-1}}{6,00 \cdot 10^{-2}} = 1,84 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{\text{Ed},y}}{W_y} = \frac{3,25 \cdot 10^{-2}}{3,00 \cdot 10^{-3}} = 10,85 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 32}{1,25} = 16,64 \text{ MPa}$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1$$

$$\frac{1,84}{11,70} + \frac{10,85}{16,64} = 0,809 \leq 1$$

VYHOVUJE**Posudek v tlaku**

- Maximální tlak v uložení

$$N_{\text{Ed}} = 81,55 \text{ kN} = 8,15 \cdot 10^{-2} \text{ MN}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{\text{Ed}}}{A} = \frac{8,15 \cdot 10^{-2}}{6,00 \cdot 10^{-2}} = 1,36 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 29,0}{1,25} = 15,08 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = 1,36 \text{ MPa} < f_{c,0,d} = 15,08 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE**Posudek na kombinaci dvojsového ohybu a vzpěrného tlaku**

- Maximální moment v poli s příslušnou normálovou silou

$$M_{\text{Ed},y} = 32,56 \text{ kN} = 3,25 \cdot 10^{-2} \text{ MN}; \quad N_{\text{Ed}} = 64,19 \text{ kN} = 6,42 \cdot 10^{-2} \text{ MN}$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{\text{Ed},y}}{W_y} = \frac{3,25 \cdot 10^{-2}}{3,00 \cdot 10^{-3}} = 10,852 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{\text{Ed}}}{A} = \frac{6,42 \cdot 10^{-2}}{6,00 \cdot 10^{-2}} = 1,070 \text{ MPa}$$

$$L_{\text{cr},y} = 2,600 \text{ m}$$

$L_{cr,z} = 0 \text{ m}$ – Žebro je zajištěno plnoplošným opláštěním

$$\lambda_y = \frac{L_{cr,y}}{i_y} = \frac{26000}{86,60} = 30,022$$

$$\lambda_{rel,y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{30,022}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{29,0}{10800}} = 0,495$$

$\beta_c = 0,1$ (0,1 platí pro LLD)

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) \\ = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,495 - 0,3) + 0,495^2) = 0,632$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{0,632 + \sqrt{0,632^2 - 0,495^2}} = 0,975$$

Kombinace ohybu a osového tlaku:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{rel,z} \leq 0,3; \lambda_{rel,y} \leq 0,3\}$$

Kombinace tlaku a ohybu:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{rel,z} > 0,3; \lambda_{rel,y} > 0,3\}$$

Posudek:

$$\frac{1,070}{0,975 \cdot 15,080} + \frac{10,582}{16,64} \leq 1 \Rightarrow 0,725 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posudek na smyk

$$V_{Ed} = 47,34 \text{ kN} = 4,73 \cdot 10^{-2} \text{ MN}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot k_{cr} \cdot A} = \frac{3 \cdot 4,73 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 0,67 \cdot 6,00 \cdot 10^{-2}} = 1,766 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 3,5}{1,25} = 1,820 \text{ MPa}$$

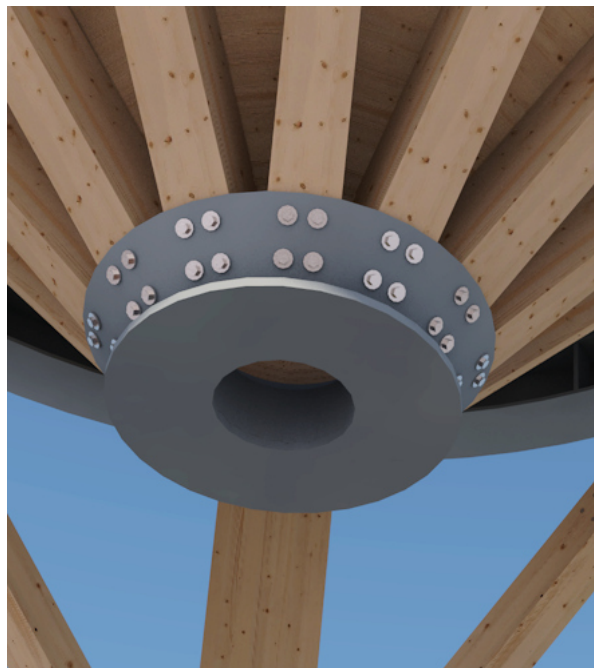
$$\tau_{v,d} = 1,766 \text{ MPa} < f_{v,d} = 1,820 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

6.3.2 Prstencová spojka žeber

Prstencová spojka je styčnickové plech procházející přes všechny žebra, jeho tvar představuje povrch komolého jehlanu. Jedná se o svařenec několika plechů tvořící ústí výsypky.

Obrázek 6.3.2 –Spojka žeber



(ilustrační vizualizace)

Vnitřní síly

Tabulka 6.3.2 – Prstencová spojka žeber - vnitřní síly

	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
Zatížení větrem na fasádu	60,37	0,00	0,00	0,00

Posudek na prostý tah

$$t_p = 5 \text{ mm}$$

$$h = 500 \text{ mm}$$

$$A = t_p \cdot h = 5 \cdot 500 = 2,50 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$f_{y,k} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1,00; \quad \gamma_{M2} = 1,25$$

$$N_{Rd} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} \cdot A = \frac{355}{1} \cdot 2,50 \cdot 10^{-3} = 8,88 \cdot 10^{-1} \text{ MN}$$

Posudek v tahu

$$N_{Ed} = 6,04 \cdot 10^{-2} \text{ MN} < N_{Rd} = 8,88 \cdot 10^{-1} \text{ MN}$$

VYHOVUJE

6.3.3 Vnitřní plášť výsypky

Vnitřní plášť výsypky tvoří kosodélníkové velkoplošné vícevrstvé panely typu CLT. Panely jsou uloženy na šikmá žebra výsypky. Povrchová vrstva lamel je orientována kolmo na žebra. Referenční šířka pro výpočet je 1000mm. Panel je uložen kloubově. Panely nejsou délkově nadstavovány, protože každou plochu tvoří jeden panel. Kotvení pláště bude vruty do šikmých žebel. Hrany CLT panelů jsou zkoseny tak aby navzájem k sobě těsně přiléhaly.

Obrázek 6.3.3 – Plášť z desek CLT



(ilustrační fotografie)

Návrh: NOVATOP SOLID 81L, C24, h=81 mm.

Kombinace zatížení

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$1,35 \cdot G_{\text{STALE},k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{PLNĚNÍ},k}$$

$$\sum (q_d + g_d) = 1,35 \cdot (0,081 \cdot 1,2 \cdot 4,9) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 32 = 48,643 \text{ kN/m}$$

Ohyb v poli.

$$M_{y,Ed} = \frac{1}{8} \cdot (q_d + g_d) \cdot l_{ef}^2 = \frac{1}{8} \cdot 48,64 \cdot 1,10^2 = 7,357 \text{ kNm} = 7,36 \cdot 10^{-3} \text{ MNm}$$

Posouvající síla je maximálními v místě uložení na krokev.

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (q_d + g_d) \cdot l_{ef} = \frac{1}{2} \cdot 48,64 \cdot 1,100 = 29,867 \text{ kN} = 2,99 \cdot 10^{-2} \text{ MN}$$

Vnitřní síly

Tabulka 6.3.3 – Vnitřní plášť výsyvky - vnitřní síly

	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
Stálé zatížení + kombinace plnění	0,00	29,87	7,36	0,00

Průřezové charakteristiky

- NOVATOP SOLID 81L
- konstrukce panelu: 3 x (9p – 9q - 9p)

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 81 \text{ mm}$$

$$A = b \cdot h = 1000 \cdot 81 = 8,1 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 3,13 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 6,74 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$\rho = 490 \text{ kg/m}^3$$

Geometrie

- Osová vzdálenost podpor $l = 1,200 \text{ m}$
- Uložení $l_b = 0,10 \text{ m}$
- Rozpětí $l_{ef} = l - 2 \cdot l_b/2 = 1,200 - 0,1 = 1,100 \text{ m}$

Materiálové charakteristiky

- Lepené dřevo C24

$$f_{m,k} = 24,0 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 4,0 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1,25$$

$$k_{mod} = 0,65 \text{ (střednědobé zatížení)}$$

$$k_{cr} = 0,67 \text{ (součinitel vlivu vysušných trhlin)}$$

Posudek na prostý ohyb

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{7,36 \cdot 10^3}{6,74 \cdot 10^5} = 10,916 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 24}{1,25} = 12,480 \text{ MPa}$$

Posudek:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \Rightarrow \frac{10,916}{12,480} = 0,839 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posudek na smyk

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{\text{Ed}}}{2 \cdot k_{\text{cr}} \cdot A} = \frac{3 \cdot 2,99 \cdot 10^4}{2 \cdot 0,67 \cdot 8,1 \cdot 10^4} = 0,826 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 4}{1,25} = 2,080 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = 0,826 \text{ MPa} < f_{v,d} = 2,080 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

6.4 Zastřešení

Návrh a posudek zastřešení se skládá z konstrukčních prvků:

- Krokev
- Vazný věnec
- Záklop

Šikmá střecha jehlanového tvaru je nepochozí typu H. Vzhledem k výšce objektu se nepředpokládá údržba za větrných dní nebo v čase sněhové pokrývky. Dominantním proměnným zatížením je sníh s větrem. viz kapitola „Výpočet zatížení větrem“.

6.4.1 Krokev

Krokev je součástí jehlanové střechy a byla navržena z rostlého dřeva C24. Průřez je standartní hranol $80 \times 120 \text{ mm}$ ($b \times h$). Ze statického hlediska se jedná o prostý, šikmý nosník s převislým koncem. Sklon krokve činí $\alpha = 30^\circ$. Krokev je ve vrcholu napojena zadrápnutím na vazný věnec a v patě je osedlána na nejvyšší prstenec kruhového zásobníku. Vzpěrná délka krokve

Obrázek 6.4.1 – Krokev zastřešení



(ilustrační vizualizace)

je uvažována jako $L_{cr,y} = 1,900 \text{ m}$, $L_{cr,z} = 0,0 \text{ m}$. V rovině střešní konstrukce je krokev zajištěna proti vybočení plnoplošným záklopem. Posudek byl proveden na smyk a na kombinaci dvojosého ohybu se vzpěrným tlakem. Vnitřní síly byly uvažovány v poli v místě maximálního ohybového momentu. Posudek krokve v oslabeném místě osedlání viz posudek osedlání v kapitole 7.

Vnitřní síly

Tabulka 6.4.1 – Krokev - vnitřní síly

	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
Tlak v kombinaci s ohybem v poli.				
Stálé zatížení	-0,77	0,00	0,02	0,00
Kombinace zatížení sněhem	-0,54	0,00	0,16	0,01
Kombinace zatížení větrem na střechu	-2,39	0,00	0,38	0,01
Tlak v kombinaci s ohybem v osedlání.				
Stálé zatížení	-0,80	0,06	-0,01	0,00
Kombinace zatížení sněhem	-0,75	0,66	-0,29	0,00
Kombinace zatížení větrem na střechu	-3,09	1,54	-0,35	0,00

Kombinace zatížení

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$1,35 \cdot G_{STALE,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{SNÍH,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{VÍTR,k}$$

Tlak v kombinaci s ohybem v poli.

$$N_{Ed,min} = 1,35 \cdot (-0,77) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-0,54) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-2,39) = -5,43 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y,přísl} = 1,35 \cdot 0,02 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,16 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,38 = 0,84 \text{ kN kNm}$$

$$M_{Ed,z,přísl} = 1,35 \cdot 0,0 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,01 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,01 = 0,03 \text{ kNm}$$

Tlak v kombinaci s ohybem v osedlání.

$$N_{Ed,min} = 1,35 \cdot (-0,8) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-0,75) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-3,09) = -6,84 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y,přísl} = 1,35 \cdot (-0,01) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-0,29) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-0,35) = 0,97 \text{ kN kNm}$$

$$M_{Ed,z,přísl} = 1,35 \cdot 0,0 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,0 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,00 = 0,0 \text{ kNm}$$

Posouvající síla je maximálními v místě osedlání na prstenec.

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot 0,06 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,66 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,54 = 3,38 \text{ Kn}$$

Průřezové charakteristiky

$$b = 80 \text{ mm}$$

$$h = 120 \text{ mm}$$

$$A = b \cdot h = 80 \cdot 120 = 9,60 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$I_y = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 80 \cdot 120^3 = 1,15 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$I_z = \frac{1}{12} \cdot h \cdot b^3 = \frac{1}{12} \cdot 120 \cdot 80^3 = 5,12 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 80 \cdot 120^2 = 1,92 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$W_z = \frac{1}{6} \cdot h \cdot b^2 = \frac{1}{6} \cdot 120 \cdot 80^2 = 1,28 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{1,15 \cdot 10^7}{9,60 \cdot 10^3}} = 34,64 \text{ mm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{5,12 \cdot 10^6}{9,60 \cdot 10^3}} = 23,09 \text{ mm}$$

Materiálové charakteristiky

– Rostlé dřevo C24

$$f_{m,k} = 24,0 \text{ MPa}; \quad f_{c,0,k} = 10,5 \text{ MPa}; \quad f_{v,k} = 4,0 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 7400 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1,30$$

$$k_{\text{mod}} = 0,65 \text{ (střednědobé zatížení)}$$

$$k_m = 0,7 \text{ (součinitel vlivu nehomogenit a redistribuce napětí)}$$

$$k_{\text{cr}} = 0,67 \text{ (součinitel vlivu výsušných trhlin)}$$

Posudek na kombinaci dvojosého ohybu a vzpěrného tlaku

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{\text{Ed},y}}{W_y} = \frac{8,37 \cdot 10^{-4}}{1,92 \cdot 10^{-4}} = 4,359 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{\text{Ed},z}}{W_z} = \frac{3,0 \cdot 10^{-5}}{1,28 \cdot 10^{-4}} = 0,234 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{\text{Ed}}}{A} = \frac{5,43 \cdot 10^{-3}}{9,60 \cdot 10^{-3}} = 0,566 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 24,0}{1,30} = 12,000 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 21,0}{1,30} = 10,500 \text{ MPa}$$

$$L_{\text{cr},y} = 1,9 \text{ m}, \quad L_{\text{cr},z} = 0,0 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \frac{L_{\text{cr},y}}{i_y} = \frac{1900}{34,64} = 54,848$$

$$\lambda_{\text{rel},y} = \frac{\lambda_y}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{54,848}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21,0}{7400}} = 0,930$$

$$\beta_c = 0,2 \text{ (0,2 platí pro rostlé dřevo)}$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel},y} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},y}^2) \\ = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (0,930 - 0,3) + 0,930^2) = 0,996$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{\text{rel},y}^2}} = \frac{1}{0,996 + \sqrt{0,996^2 - 0,930^2}} = 0,740$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{\text{rel},z} \leq 0,3; \lambda_{\text{rel},y} \leq 0,3\}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{\text{rel},z} \leq 0,3; \lambda_{\text{rel},y} \leq 0,3\}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{\text{rel},z} > 0,3; \lambda_{\text{rel},y} > 0,3\}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{\text{rel},z} > 0,3; \lambda_{\text{rel},y} > 0,3\}$$

$$\frac{0,566}{0,740 \cdot 10,500} + 0,7 \cdot \frac{4,359}{12,000} + \frac{0,234}{12,000} \leq 1 \Rightarrow 0,325 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\frac{0,566}{0,740 \cdot 10,500} + \frac{4,359}{12,000} + 0,7 \cdot \frac{0,234}{12,000} \leq 1 \Rightarrow 0,450 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posudek na smyk

- Posudek krokve v oslabeném místě osedlání viz posudek osedlání v kapitole 7.

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot k_{cr} \cdot A} = \frac{3 \cdot 3,38 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,67 \cdot 9,60 \cdot 10^{-3}} = 0,788 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 4,0}{1,30} = 2,00 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = 0,788 \text{ MPa} < f_{v,d} = 2,000 \text{ MPa} \Rightarrow 0,394 \leq 1$$

VYHOVUJE

6.4.2 Vazný věnec

Vazný věnec je součástí jehlanové střechy a byla navržena z rostlého dřeva C24. Průřez je standartní hranol $160 \times 160 \text{ mm}$ ($b \times h$). Ze statického hlediska se jedná o čtvercový rám. Krokve jsou na vazný věnec napojeny zadrápnutím. Vzpěrnou délkou lze uvažovat délku strany rámu, jelikož v těchto místech na pojení krokve brání ve vybočení

Obrázek 6.4.2 – Vazný věnec



(ilustrační vizualizace)

$L_{cr,y} = 1,20 \text{ m}$, $L_{cr,z} = 1,200 \text{ m}$. Posudek byl proveden na smyk a na kombinaci dvojosého ohybu se vzpěrným tlakem. Vnitřní síly byly uvažovány v poli v místě maximálního ohybového momentu. Posudek vazného věnce v rámovém rohu viz posudky v kapitole 7.

Vnitřní síly

Tabulka 6.4.2 – Vazní věnec - vnitřní síly

	$N_{Ed} \text{ [kN]}$	$V_{Ed} \text{ [kN]}$	$M_{Ed,y} \text{ [kNm]}$	$M_{Ed,z} \text{ [kNm]}$	$T_{Ed} \text{ [kN]}$
Tlak v kombinaci s ohybem v poli.					
Stálé zatížení	-0,41	0,00	0,04	0,01	0,00
Kombinace zatížení sněhem	-3,36	0,00	0,11	0,24	0,00
Kombinace zatížení větrem na střechu	-2,39	0,00	0,38	0,01	0,00
Tlak v kombinaci s ohybem v rohu.					
Stálé zatížení	-0,42	0,07	-3,76	-3,09	0,01
Kombinace zatížení sněhem	0,01	0,81	0,40	0,35	-0,06
Kombinace zatížení větrem na střechu	0,02	1,54	0,1	0,00	-0,01

Kombinace zatížení

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$1,35 \cdot G_{STALE,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{SNÍH,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{VÍTR,k}$$

Tlak v kombinaci s ohybem v poli.

$$N_{\text{Ed,min}} = 1,35 \cdot (-0,41) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-3,36) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-2,39) = -9,18 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Ed,y,přísl}} = 1,35 \cdot 0,04 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,11 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,38 = 0,79 \text{ kN kNm}$$

$$M_{\text{Ed,z,přísl}} = 1,35 \cdot 0,01 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,24 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,01 = 0,39 \text{ kNm}$$

Tlak v kombinaci s ohybem v rohu.

$$N_{\text{Ed,min}} = 1,35 \cdot (-0,42) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-3,76) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-3,09) = -6,84 \text{ kN}$$

$$M_{\text{Ed,y,přísl}} = 1,35 \cdot 0,01 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,4 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,35 = 0,97 \text{ kN kNm}$$

$$M_{\text{Ed,z,přísl}} = 1,35 \cdot 0,02 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,1 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,00 = 0,0 \text{ kNm}$$

Posouvající síla je maximálními v rohu.

$$V_{\text{Ed}} = 1,35 \cdot 0,07 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,81 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,54 = 3,62 \text{ kN}$$

Maximální krouticí moment v rohu.

$$T_{\text{Ed}} = 1,35 \cdot 0,01 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-0,06) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-0,01) = 0,12 \text{ kN}$$

Průřezové charakteristiky

$$b = 120 \text{ mm}$$

$$h = 120 \text{ mm}$$

$$A = b \cdot h = 120^2 = 1,44 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I_y = I_z = \frac{1}{12} \cdot b \cdot h^3 = \frac{1}{12} \cdot 120^4 = 1,73 \cdot 10^7 \text{ mm}^4$$

$$W_y = W_z = \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = \frac{1}{6} \cdot 120^3 = 2,88 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$i_y = i_z = \sqrt{\frac{I_{y,z}}{A}} = \sqrt{\frac{1,73 \cdot 10^7}{1,44 \cdot 10^{-2}}} = 34,64 \text{ mm}$$

Materiálové charakteristiky

– Rostlé dřevo C24

$$f_{\text{m,k}} = 24,0 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{c,0,k}} = 21,0 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{v,k}} = 4,0 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 7400 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{\text{M}} = 1,30$$

$$k_{\text{mod}} = 0,7 \text{ (krátkodobé zatížení)}$$

$$k_m = 0,7 \text{ (součinitel vlivu nehomogenit a redistribuce napětí)}$$

$$k_{\text{cr}} = 0,67 \text{ (součinitel vlivu výsušných trhlin)}$$

Posudek na kombinaci dvojosého ohybu a vzpěrného tlaku

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{\text{Ed},y}}{W_y} = \frac{7,89 \cdot 10^{-4}}{2,88 \cdot 10^{-4}} = 2,740 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{\text{Ed},z}}{W_z} = \frac{3,89 \cdot 10^{-4}}{2,88 \cdot 10^{-4}} = 1,349 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{\text{Ed}}}{A} = \frac{9,18 \cdot 10^{-3}}{1,44 \cdot 10^{-2}} = 0,637 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 24}{1,30} = 12,923 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 21}{1,30} = 11,308 \text{ MPa}$$

$$L_{\text{cr},y} = L_{\text{cr},z} = 1,200 \text{ m}$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{L_{\text{cr},y,z}}{i_y} = \frac{1200}{34,64} = 34,641$$

$$\lambda_{\text{rel},y} = \lambda_{\text{rel},z} = \frac{\lambda_{y,z}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{34,641}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{21,0}{7400}} = 0,587$$

$$\beta_c = 0,2 \text{ (0,2 platí pro rostlé dřevo)}$$

$$k_y = k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{\text{rel},y,z} - 0,3) + \lambda_{\text{rel},y,z}^2) \\ = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (0,587 - 0,3) + 0,587^2) = 0,701$$

$$k_{c,y,z} = \frac{1}{k_{y,z} + \sqrt{k_{y,z}^2 - \lambda_{\text{rel},y,z}^2}} = \frac{1}{0,701 + \sqrt{0,701^2 - 0,587^2}} = 0,922$$

Kombinace ohybu a osového tlaku:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{\text{rel},z} \leq 0,3; \lambda_{\text{rel},y} \leq 0,3\}$$

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{\text{rel},z} \leq 0,3; \lambda_{\text{rel},y} \leq 0,3\}$$

Kombinace tlaku a ohybu:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{rel,z} > 0,3; \lambda_{rel,y} > 0,3\}$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \quad \{\lambda_{rel,z} > 0,3; \lambda_{rel,y} > 0,3\}$$

Posudek:

$$\frac{0,637}{0,922 \cdot 11,308} + 0,7 \cdot \frac{2,740}{12,923} + \frac{1,349}{12,923} \leq 1 \Rightarrow 0,314 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\frac{0,637}{0,922 \cdot 11,308} + \frac{2,740}{12,923} + 0,7 \cdot \frac{1,349}{12,923} \leq 1 \Rightarrow 0,346 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posudek na smyk

$$V_{Ed} = 3,62 \cdot 10^{-3} \text{ MN}$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot k_{cr} \cdot A} = \frac{3 \cdot 3,62 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,67 \cdot 1,44 \cdot 10^{-2}} = 0,563 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 4,0}{1,30} = 2,154 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = 0,563 \text{ MPa} < f_{v,d} = 2,154 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Posudek v kroucení

$$T_{Ed} = 1,19 \cdot 10^{-4} \text{ MNm}$$

$$\beta = 0,208 \quad - \text{ bezrozměrný součinitel kroucení}$$

$$w_t = \beta \cdot b \cdot h^2 = 0,208 \cdot 120^3 = 1,44 \cdot 10^{-4} \text{ mm}^3$$

$$\tau_{tor,d} = \frac{T_{Ed}}{w_t} = \frac{1,19 \cdot 10^{-4}}{1,44 \cdot 10^{-2}} = 0,330 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 3,5}{1,25} = 1,960 \text{ MPa}$$

$$k_{shape} = \min \left| 1 + 0,15 \cdot \left(\frac{h}{b} \right)^2 = 1 + 0,15 \cdot \left(\frac{120}{120} \right)^2 = 1,15 \right| = 1,15$$

$$\tau_{tor,d} = 0,330 \text{ MPa} < f_{v,d} \cdot k_{shape} = 2,154 \cdot 1,15 = 2,477 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

6.4.3 Záklop

Plnoplošný záklop je pláštěm jehlanové střechy a byl navržen z desek CLT

NOVATOP STATIC 45Q

zvláště zatížitelnými deskami pro nosné účely v konstrukcích střech. NOVATOP STATIC je vícevrstvá deska z rostlého dřeva se dvěma rovnoběžnými svrchními vrstvami z každé strany a středovou vrstvou s kolmým průběhem vláken k průběhu vláken svrchních vrstev.

Tloušťka desek je 45mm. Každá (ilustrační fotografie)

Obrázek 6.4.3 – Záklop z desek CLT



jednotlivá deska tvoří jednu plochu jehlanové střechy, tudíž nejsou žádné další spoje desek zapotřebí. Hlavní směr desky je orientován příčně na osu krokvi (tip desky Q – příčný směr vláken). Ze statického hlediska se jedná o prostý nosník. Největší vzdálenost mezi krokvemi je v místě okapu, na tuto vzdálenost jsou desky navrženy $L = 1,500 \text{ m}$. Záklop bude spojitě uložen a přišroubován pomocí vrutů na krokve. Desky tvoří prostorové ztužení zastřešení. Návrh je proveden výpočtem, na základě tabulkových hodnot NOVATOP STATIC 45Q.

Kombinace zatížení

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$1,35 \cdot G_{\text{STALE},k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{SNÍH},k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{VÍTR},k}$$

$$\sum (q_d + g_d) = 1,35 \cdot (0,045 \cdot 1 \cdot 4,9) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (1,456 \cdot \cos 30^\circ) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (0,7)$$

Vnitřní síly

Ohybe v poli.

$$M_{y,Ed} = \frac{1}{8} \cdot (q_d + g_d) \cdot l_{ef}^2 = \frac{1}{8} \cdot (3,239) \cdot 1,500^2 = 0,911 \text{ kNm} = 9,11 \cdot 10^{-4} \text{ MNm}$$

Posouvající síla je maximálními v místě uložení na krokev.

$$V_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot (q_d + g_d) \cdot l_{ef} = \frac{1}{2} \cdot (3,239) \cdot 1,500 = 1,989 \text{ kN} = 1,989 \cdot 10^{-3} \text{ MN}$$

Tabulka 6.4.3 – Záklop střechy - vnitřní síly

	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]
Stálé zatížení + kombinace plnění	0,00	1,99	0,911	0,00

Průřezové charakteristiky

- NOVATOP STATIC 45Q
- konstrukce panelu: (9p – 9q – 9p– 9p– 9p)
- Namáhání kolmo na rovinu desky
- Hodnoty jsou převzaty katalogu NOVATOP STATIC

$$b = 1000 \text{ mm}$$

$$h = 45 \text{ mm}$$

$$A = b \cdot h = 1000 \cdot 45 = 4,5 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$I_y = 6,05 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$W_y = 2,69 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

$$\rho = 490 \text{ kg/m}^3$$

Geometrie

- Osová vzdálenost podpor $l = 1,500 \text{ m}$
- Uložení $l_b = 0,04 \text{ m}$
- Rozpětí $l_{ef} = l - 2 \cdot l_b / 2 = 1,500 - 0,04 = 1,496 \text{ m}$

Materiálové charakteristiky

– Hodnoty jsou převzaty katalogu NOVATOP STATIC

$$f_{m,0,k} = 29,8 \text{ MPa}$$

$$f_{m,90,k} = 3,1 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 1,1 \text{ MPa}$$

$$E_{m,0} = 11400 \text{ MPa}$$

$$E_{m,90} = 250 \text{ MPa}$$

$$G = 90 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1,25$$

$$k_{\text{mod}} = 0,65 \text{ (střednědobé zatížení)}$$

$$k_{\text{cr}} = 0,67 \text{ (součinitel vlivu výsušných trhlin)}$$

Posudek na prostý jednoosý ohyb

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{y,Ed}}{W_y} = \frac{9,11 \cdot 10^{-4}}{2,69 \cdot 10^{-4}} = 3,387 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{m,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 29,8}{1,25} = 15,496 \text{ MPa}$$

Posudek:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \Rightarrow \frac{3,387}{15,496} = 0,219 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posudek na smyk

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot k_{\text{cr}} \cdot A} = \frac{3 \cdot 1,989 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,67 \cdot 4,5 \cdot 10^{-2}} = 0,099 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,7 \cdot 1}{1,25} = 0,520 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = 0,099 \text{ MPa} < f_{v,d} = 0,520 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

6.5 Základ

6.5.1 Železobetonová patka centricky zatížená

Patka je centricky zatížená od šikmých sloupů pomocí čepového ložiska. Patní plech tloušťky 15 mm je připevněn pomocí 4 kotevních šroubů třídy pevnosti 5.6 a průměru 24 mm. Podlití patního plechu je uvažováno $30 \text{ mm} \pm 20 \text{ mm}$.

Dominantním zatížením je vlastní tíha a tíha náplně.

Uvažovaná životnost sila je 50 let, třída konstrukce S4.

První dva podzemní stupně patky budou z betonu třídy: AX1 (slabě agresivní chemické prostředí); vodní součinitel max. 0,55; množství cementu min. 300 kg/m^3 ; třída pevnosti betonu min. C20/25; maximální průsak vody 50 mm^2 . Třetí, nadzemní stupeň patky bude z betonu: XF2 (mírně nasycen vodou s rozmrazovacími prostředky); vodní součinitel max. 0,55; množství cementu min. 300 kg/m^3 ; třída pevnosti betonu min. C25/30; maximální průsak vody 50 mm^2 ; objem vzduchových pórů max. 4%.

Obrázek 6.5.1 – Základová patka



(ilustrační vizualizace)

Kombinace zatížení

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$1,35 \cdot G_{\text{STALE},k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{NÁPLŇ},k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{SNÍH},k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{VÍTR},k}$$

Síly působící na patku

$$R_x = R_y = V_{\text{Ed}} = 0,138 \text{ MN}$$

$$R_z = N_{\text{Ed}} = 0,524 \text{ MN}$$

Provozní napětí základové půdy

$$\sigma_d = 0,2 \text{ MPa}$$

Materiál

–Beton C20/25

$$\gamma_c = 1,5$$

$$f_{ck} = 20 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{20}{1,5} = 13,33 \text{ MPa}$$

$$f_{ctk0,05} = 1,5 \text{ MPa} \quad \text{– Charakteristická pevnost betonu v dostředném tahu}$$

$$f_{ctm} = 2,2 \text{ MPa}$$

–Ocel B500B

$$\gamma_s = 1,15$$

$$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

Návrh rozměrů patky

– Patka je dvouose symetrická

Půdorys nadbetonávky:

$$c_y = c_x = 0,75 \text{ m}$$

Půdorys patky:

$$b_y = b_x = 3,00 \text{ m}$$

Výška patky:

$$h_p = 0,8 \text{ m}$$

– Vzdálenost mezi čepem na šikmém sloupu a základovou spárou.

$$\sum h = 1,7 \text{ m}$$

(výška obou stupňů patky+ podlití+ patní plech+ čepový plech)

$$a_y = a_x = \frac{b - c}{2} = \frac{3,0 - 0,75}{2} = 1,125 \text{ m}$$

$$0,5 \leq \frac{h}{a} \leq 1 \Rightarrow 0,5 \leq \frac{0,8}{1,125} \leq 1 \Rightarrow 0,5 \leq 0,711 \leq 1 \quad \text{PLATÍ}$$

- Patka bude dvoustupňová: $h_1 = 0,4 \text{ m}$; $h_2 = 0,4 \text{ m}$ s nadbetonovaným krátkým sloupkem (třetím stupněm). $h_3 = 0,9 \text{ m}$

Vlastní tíha patky

$$g_{d,patky} = \gamma_g \cdot \rho_c \cdot \sum (A_i \cdot h_i)$$

$$g_{d,patky} = 1,35 \cdot 2500 \cdot (3^2 \cdot 0,4 + 2,2^2 \cdot 0,4 + 0,75^2 \cdot 0,9) = 203,93 \text{ kN}$$

Krycí vrstva betonu

- Betonáž bude probíhat na podkladní beton

$$c_{\min,b} = \phi = 16 \text{ mm}; \quad c_{\min,dur} = 45 \text{ mm}; \quad \Delta c_{dur,y} = 0 \text{ mm}; \quad \Delta c_{dev} = 10 \text{ mm}$$

$$c_{\min} = \min \left| \begin{array}{c} c_{\min,b} = 16 \\ c_{\min,dur} + \frac{\Delta c_{dur,y}}{10} = 45 + 0 = 45 \end{array} \right| = 45 \text{ mm}$$

$$c_{nom} = c_{\min} + \Delta c_{dev} = 45 + 10 = 55 \text{ mm}$$

Posouzení únosnosti základové půdy

$$e_x = e_y = \frac{M_{Ed} + V_{Ed} \cdot \sum h}{N_{Ed}} = \frac{0 + 138 \cdot 1,7}{524} = 0,448 \text{ m}$$

$$A_{ef} = (b_x - 2e_x) \cdot (b_y - 2e_y) = (3 - 2 \cdot 0,448)^2 = 4,429 \text{ m}^2$$

$$\sigma_{zs} = \frac{N_{Ed} + g_{d,patky}}{A_{ef}} = \frac{0,524 + 0,204}{4,429} = 0,164 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{zs} = 0,164 \text{ MPa} \leq \sigma_d = 0,2 \text{ MPa}$$

VYHOVUJE

Dimenzování na ohyb

- Patka je čtvercová, následující posudek platí pro oba směry
- Návrh výztuže: 15ksØ16

Napětí v základové spáře

$$\sigma = \frac{N_{Ed}}{A_{ef}} = \frac{0,524}{4,429} = 118,304 \text{ kPa}$$

Dimenzační moment:

$$M_{Ed,dim} = 0,5 \cdot \sigma \cdot b \cdot (a + 0,15 \cdot c)^2 = 0,5 \cdot 118,304 \cdot 3 \cdot (1,125 + 0,15 \cdot 0,75)^2 \\ = 271,76 \text{ kNm}$$

Účinná výška průřezu:

Kapitola: 6. Návrh a posouzení prvků sila

6.5. Základ

6.5.1. Železobetonová patka centricky zatížená

~ 85 ~

$$d = h_p - c_{\text{nom}} - \emptyset = 0,8 - 0,055 - 0,016 = 0,729 \text{ m}$$

$$A_s = \frac{\pi \cdot \emptyset^2}{4} = \frac{\pi \cdot 0,016^2}{4} = 3,02 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \quad - \text{ Plocha výztuže}$$

$$F_s = A_s \cdot f_{yd} = 3,02 \cdot 10^{-3} \cdot 434,78 \cdot 10^3 = 1311,27 \text{ kN} \quad - \text{ Síla ve výztuži}$$

$$x = \frac{F_s}{0,8 \cdot b \cdot f_{cd}} = \frac{1311,27}{0,8 \cdot 3 \cdot 13,33 \cdot 10^3} = 0,041 \text{ m} \quad - \text{ Výška tlačené oblasti}$$

Únosnost průřezu;

$$M_{\text{Rd}} = F_s \cdot (d - 0,4 \cdot x) = 1311,27 \cdot (0,729 - 0,4 \cdot 0,041) = 923,94 \text{ kNm}$$

$$M_{\text{Ed,dim}} = 271,76 \text{ kNm} \leq M_{\text{Rd}} = 923,94 \text{ kNm}$$

VYHOVUJE

Konstrukční zásady

Omezení množství hlavní tahové výztuže

$$A_{s,\text{min}} = \max \left| \begin{array}{l} 0,26 \cdot \frac{f_{\text{ctm}}}{f_{yk}} \cdot b_t \cdot d = 0,26 \cdot 3 \cdot 0,729 = 2,74 \cdot 10^{-3} \\ 0,0013 \cdot b_t \cdot d = 0,0013 \cdot 3 \cdot 0,729 = 2,81 \cdot 10^{-3} \end{array} \right| = 2,81 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{max}} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 3 \cdot 0,8 = 9,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$A_{s,\text{min}} = 2,81 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \leq A_s = 3,02 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2 \leq A_{s,\text{max}} = 9,6 \cdot 10^{-2} \text{ m}^2$$

VYHOVUJE

Omezení výšky tlačené oblasti

$$\xi = \frac{x}{d} = \frac{0,041}{0,729} = 0,057 \leq \xi_{\text{bal}} = \frac{700}{700 + f_{yd}} = \frac{700}{700 + 434,78} = 0,617$$

VYHOVUJE

Maximální (osová) vzdálenost hlavní výztuže

$$s_{\text{max}} = \max \left| \frac{2 \cdot h}{250} = \frac{2 \cdot 400}{250} = 800 \right| = 250 \text{ mm}$$

$$s_{\text{skut,os}} = \frac{b - 2 \cdot c_{\text{nom}} - \emptyset}{n - 1} = \frac{3000 - 2 \cdot 55 - 16}{15 - 1} = 205 \text{ mm}$$

$$s_{\text{skut,os}} = 205 \text{ mm} \leq s_{\text{max}} = 250 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

Minimální (světlá) vzdálenost prutu

$$d_g = 16 \text{ mm}; k_1 = 1,2; k_2 = 5 \text{ mm}$$

$$s_{\min} = \max \left| \begin{array}{l} k_1 \cdot \emptyset = 1,2 \cdot 16 = 19,2 \\ d_g + k_2 = 16 + 5 = 21 \\ 20 \end{array} \right| = 21 \text{ mm}$$

$$s_{\text{skut,sv}} = s_{\text{skut,os}} - \emptyset = 205 - 16 = 189 \text{ mm}$$

$$s_{\text{skut,sv}} = 189 \text{ mm} \geq s_{\max} = 21 \text{ mm}$$

VYHOVUJE

Kotevní délka

$$x = \frac{h_1}{2} = \frac{400}{2} = 200 \text{ mm}$$

$$z_i = 0,9 \cdot d = 0,9 \cdot 729 = 649 \text{ mm} - \text{Rameno vnitřních sil}$$

– Rameno vnějších sil

$$z_e = \left(a_x - \frac{x}{2} \right) + 0,15 \cdot c = \left(1138 - \frac{200}{2} \right) + 0,15 \cdot 750 = 1138 \text{ mm}$$

– Výslednice tlaků v základové půdě na délce x

$$R = \sigma_{zs} \cdot x \cdot b = 164,345 \cdot 1138 \cdot 3 = 98,61 \text{ kN}$$

– Tahová síla, která má být zakotvena

$$F_{sx} = R \cdot \frac{z_e}{z_i} = 98,61 \cdot \frac{1,138}{0,649} = 172,86 \text{ kN}$$

– Namáhání prutu v místě počátku kotvení

$$\sigma_{sd} = \frac{F_{sx}}{A_{sx}} = \frac{172,86}{3,02 \cdot 10^{-3}} = 57,31 \text{ kPa}$$

$$\alpha_{ct} = 1,0 \quad - \text{Součinitel dlouhodobých účinků na pevnost v tlaku}$$

$$f_{ctd} = \frac{\alpha_{ct} \cdot f_{ctk0,05}}{\gamma_c} = \frac{1,0 \cdot 1,5}{1,5} = 1,0 \text{ kPa} - \text{Návrhová pevnost betonu v tahu}$$

– Mezní napětí v soudržnosti

$$f_{bd} = 2,25 \cdot \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot f_{ctd} = 2,25 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,0 = \text{kPa}$$

$$l_{b,rqd} = \frac{\emptyset}{4} \cdot \frac{\sigma_{sd}}{f_{bd}} = \frac{16}{4} \cdot \frac{57,31}{1,0} = 102 \text{ mm} \quad - \text{Základní kotevní délka}$$

$$l_{bd} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd} = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 102 = 102 \text{ mm}$$

$$l_{bd,\min} = \max \left| \begin{array}{l} 0,3 \cdot l_{bd} = 0,3 \cdot 102 = 30 \text{ mm} \\ 10 \cdot \emptyset = 10 \cdot 16 = 160 \text{ mm} \\ 100 \text{ mm} \end{array} \right| = 160 \text{ mm}$$

Návrh kotevní délky výztuže: $l_{bd} = 160 \text{ mm}$

$$l_{bd} = 160 \text{ mm} < x = 200 \text{ mm} \quad - \text{Prut se musí ohnout nahoru}$$

Protlačení základové patky

Posouzení odolnosti proti rozdrčení tlakových betonových diagonál v patce na obvodu sloupu

$$v = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) = 0,6 \cdot \left(1 - \frac{20}{250}\right) = 0,55 \quad - \text{Redukční součinitel}$$

$$v_{Rd} = 0,5 \cdot v \cdot f_{cd} = 0,5 \cdot 0,55 \cdot 1333 = 3680 \text{ kPa}$$

$$\beta = 1,0 \quad - \text{Součinitel vlivu excentricity}$$

$$u_0 = 2 \cdot (c_x + c_y) = m \quad - \text{Obvod sloupu}$$

$$V_{Ed,max} = \frac{V_{Ed}}{A_{ef}} \cdot (b_x \cdot b_y - c_x \cdot c_y) = 998 \text{ [kN]}$$

$$v_{Ed,max} = \beta \cdot \frac{V_{Ed,max}}{u_0 \cdot d} = 456 \text{ kPa}$$

$$v_{Ed,max} = 456 \text{ kPa} \leq v_{Rd} = 3680 \text{ kPa}$$

VYHOVUJE

Posouzení smykové odolnosti patky bez smykové výztuže

$$a = i \cdot d \text{ [m]}$$

$$\rho_{x,y} = \frac{A_s}{b \cdot d} = \frac{3,02 \cdot 10^{-3}}{3 \cdot 0,729} = 0,0014$$

$$\rho_l = \sqrt{\rho_x \cdot \rho_y} = 0,0014 \leq 0,02 \quad \text{PLATÍ}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,5} = 0,12$$

$$k_h = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} = 1 + \sqrt{\frac{200}{729}} = 1,524 \leq 2,0 \quad \text{PLATÍ}$$

$$v_{l,min} = 0,035 \cdot k_h^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{f_{ck}} = 0,035 \cdot 1,524^{\frac{3}{2}} \cdot \sqrt{20} = 0,029 \text{ MPa}$$

$$v_{Rd} = C_{Rd,c} \cdot k \cdot (100 \cdot \rho_l \cdot f_{ck})^{\frac{1}{3}} \cdot \frac{2 \cdot d}{a} \geq v_{l,min} \cdot \frac{2 \cdot d}{a}$$

$$V_{Ed,red} = \sigma \cdot A_{(a)}^+ \text{ [kN]}$$

$$v_{Ed,red} = \beta \cdot \frac{V_{Ed,red}}{u_0 \cdot d} \text{ [kPa]}$$

$$v_{Ed,red} \leq v_{Rd,red}$$

Tabulka 6.5.1 – Posouzení smykové odolnosti patky bez smykové výztuže

a [m]	$u_{(a)}$ [m]	$A_{(a)}^+$ [m ²]	$V_{Ed,red}$ [MN]	$v_{Ed,red}$ [MPa]	$v_{Rd(a)}$ [MPa]	$v_{l,min(a)}$ [MPa]	
0,125d	0,091	3,57	0,861	0,963	0,370	4,103	0,471
0,25d	0,182	4,14	1,1212	0,921	0,305	2,051	0,236
0,5d	0,365	5,29	2,08	0,819	0,212	1,026	0,118
0,75d	0,547	6,44	3,14	0,693	0,148	0,684	0,079
d	0,729	7,58	4,42	0,542	0,217	0,231	0,027
1,25d	0,911	8,72	5,90	0,367	0,128	0,185	0,021
1,5d	1,094	9,87	7,60	0,166	0,051	0,154	0,018
1,543d	1,125	7,07	7,90	0,130	0,056	0,150	0,017

VYHOVÍ

6.5.2 Železobetonové základové táhlo

Posouzení na posunutí patky v úrovni základové spáry

– Je uvažováno pouze se třením

$\gamma_m = 1,0$; $\varphi_k = 30^\circ$ (Sypný úhel zeminy v úrovni základové spáry)

$$\varphi_{dk} = \frac{\varphi_k}{\gamma_m} = \frac{30}{1,0} = 30^\circ$$

$$\varphi_d = 30^\circ$$

$$\mu = \tan \varphi_d = \tan 30 = 0,577$$

$$S_{Ed} = (N_{Ed} + g_{d,patky}) \cdot \mu = (524 + 204) \cdot 0,577 = 420,27 \text{ kN}$$

$$\sum V_{Ed} = \sqrt{V_{Ed,y}^2 + V_{Ed,x}^2} = \sqrt{138^2 + 138^2} = 195,16 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 195,16 \text{ kN} \leq S_{Ed} = 420,27 \text{ kN}$$

VYHOVUJE

Železobetonové táhlo mezi základovými patkami není zapotřebí.

Vodorovné zatížení od nejnepríznivější kombinace zatížení je přeneseno do podloží pomocí tření základové patky a podloží.

7. Návrh a posudek spojů

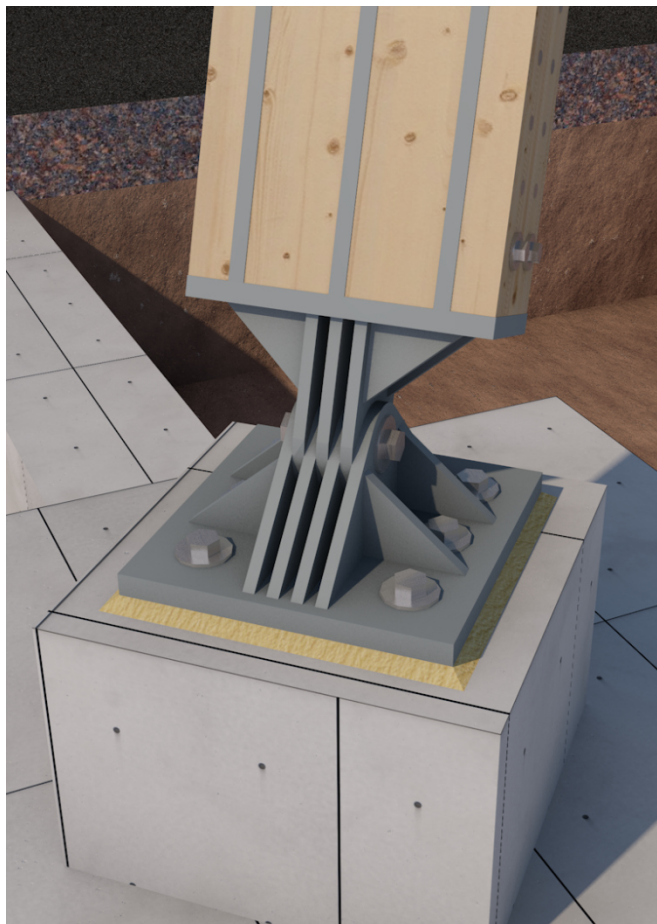
7.1 Podstava

7.1.1 Uložení šikmého sloupu na ŽB patku

Šikmé sloupy jsou uloženy na železobetonové základové patky pomocí ocelových čepů. Horní povrch patky je vodorovný. Ocelový čep je třídy pevnosti S355 a průměru 75 mm. Čep je k šikmému sloupu podstavy připojen pomocí vsazeného ocelového plechu, který je připojen k patě sloupu pomocí 18 kolíků ROTHOBLOSS (třídy pevnosti 6.8) průměru 7 mm a délky 233 mm. Tlaková normálová síla je přenášena čelní deskou z oceli třídy pevnosti S355 tloušťky 35 mm. Čepové ložisko je ukotveno k železobetonové patce pomocí patního plechu tloušťky 15 mm. Kotevní šrouby nejsou namáhány tahem. Patní plech připevněn pomocí 4 kotevních šroubů třídy pevnosti 5.6 a průměru 24 mm.

Svorníky zajišťující spoj jsou navrženy konstrukčně typu 4xM10.

Obrázek 7.1.1 – Uložení šikmého sloupu na ŽB patku (ilustrační vizualizace)



(vizualizace neodpovídá skut. návrhu)

Vnitřní síly v patě sloupu

Tabulka 7.1.1 – Pata šikmého sloupu - vnitřní síly

	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]
Stálé zatížení	-98,69	1,41
Tíha náplně	-271,58	3,65
Kombinace zatížení sněhem	-12,06	0,13
Kombinace zatížení větrem na střechu	-4,60	0,07
Zatížení větrem na fasádu	-5,20	0,11

Kombinace zatížení

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$1,35 \cdot G_{STALE,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{NÁPLŇ,k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{SNÍH,k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{VÍTR,k}$$

$$N_{Ed,max} = 1,35 \cdot (-98,69) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-271,58) + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (-12,06) + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (-4,6 - 5,2) = -560,28 \text{ kN} = 5,6 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot 1,41 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 3,65 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,13 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0,07 + 0,11) = 7,66 \text{ kN}$$

Charakteristiky připojovaného sloupu

Dřevo – GL32h, třída provozu 3.,

 $b = 500 \text{ mm}$ $h = 260 \text{ mm}$ $A = b \cdot h = 500 \cdot 260 = 1,30 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$ $\rho_k = 430 \text{ kg/m}^3$ $\gamma_M = 1,3$ (pro spoje)**Návrh a posouzení otlačení dřeva od čelní desky:**

Rozměry a materiál čelní desky:

Plech – Třída pevnosti S355

 $t_d = 35 \text{ mm}$ -tloušťka čelní desky $h_d = 500 \text{ mm}$ -výška čelní desky $b_d = 260 \text{ mm}$ -šířka čelní desky $f_{y,k} = 355 \text{ MPa}$ -mez kluzu čelní desky

$$f_{u,k} = 510 \text{ MPa} \quad \text{-mez pevnosti čelní desky}$$

Rozměry a materiál styčnickového plechu:

Plech – Třída pevnosti S355

$$t_p = 5 \text{ mm} \quad \text{- tloušťka styčnickového plechu}$$

$$h_p = 500 \text{ mm} \quad \text{- výška styčnickového plechu}$$

$$b_p = 350 \text{ mm} \quad \text{- šířka styčnickového plechu}$$

$$f_y = 355 \text{ MPa} \quad \text{- mez kluzu styčnickového plechu}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa} \quad \text{- mez pevnosti styčnickového plechu}$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Plocha otlačení dřeva:

$$A_d = b_d \cdot h_d = 260 \cdot 500 = 1,30 \cdot 10^5 \text{ m}$$

Normálové napětí rovnoběžně s vlákny dřeva:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A_d} = \frac{5,6 \cdot 10^5}{1,30 \cdot 10^5} = 4,310 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 24}{1,25} = 12,480 \text{ MPa}$$

Posudek:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1 \Rightarrow \frac{4,310}{12,480} = 0,345 \leq 1$$

VYHOVUJE

Návrh a posouzení čelní desky:

Ohybový moment vznikající v čelní desce od normálové síly:

$$t_1 = \frac{(b_d - t_p)}{2} = \frac{(260 - 5)}{2} = 127,5 \text{ mm}$$

$$W_{y,p} = \frac{1}{6} \cdot \frac{b_d}{2} \cdot t_d^2 = \frac{1}{6} \cdot \frac{260}{2} \cdot 35^2 = 2,65 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$M_y = \frac{N_{Ed}}{2} \cdot \left(\frac{t_p}{2} + \frac{t_1}{2} \right) = \frac{5,6 \cdot 10^5}{2} \cdot \left(\frac{5}{2} + \frac{127,5}{2} \right) = 1,86 \cdot 10^{-2} \text{ MNm}$$

Napětí za ohybu v čelní desce:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_y}{W_{y,p}} = \frac{1,86 \cdot 10^{-2}}{2,65 \cdot 10^4} = 699,251 \text{ MPa}$$

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_{M0}} = \frac{355}{1,0} = 355 \text{ MPa}$$

Posudek:

$$\frac{\sigma_{m,d}}{f_{y,d}} \leq 1 \Rightarrow \frac{699,251}{355} = 2,087 \geq 1$$

NEVYHOVUJE

- Plech čelní desky se musí vyztužit.

Návrh a posouzení kolíkového spoje:

Rozměry a materiál kolíku:

Kolík – Samovrtný kolík ROTHOBLOSS (Třída pevnosti 6.8)

$d = 7 \text{ mm}$	- průměr kolíků
$A_k = 3,85 \cdot 10^{-1} \text{ mm}^2$	- průřezová plocha kolíků
$L_k = 221 \text{ mm}$	- délka kolíků
$d_0 = 7 \text{ mm}$	- průměr otvorů pro kolíky
$f_{y,b} = 480 \text{ MPa}$	- mez kluzu kolíků
$f_{u,b} = 600 \text{ MPa}$	- mez pevnosti kolíků
$\alpha_v = 0,5$	
$n = 18 \text{ ks}$	- počet kolíků ve spoji
$m = 9$	- počet řad ve spoji
$u = 2$	- počet sloupců ve spoji

Osové vzdálenosti kolíků:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{M_{Ed} + V_{Ed}}{N_{Ed}} = \tan^{-1} \frac{0 + 7,66}{560,28} = 0,78^\circ$$

$a_1 = p_2 = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 35 \text{ mm}$	– NÁVRH: 50 mm
$a_2 = p_1 = 3 \cdot d = 21 \text{ mm}$	– NÁVRH: 50 mm
$a_{3,t} = e_2 = \max \left \frac{80}{7 \cdot d} \right = 80 \text{ mm}$	– NÁVRH: 150 mm
$a_{4,t} = e_1 = \max \left \frac{(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d}{3 \cdot d} \right = 21 \text{ mm}$	– NÁVRH: 50 mm

Excentricita vznikající od smykové síly:

- Vzdálenost osy čepu od středu otáčení kolíků.

$$e = 100 + \frac{50}{2} + 35 + \frac{350}{2} = 335 \text{ mm}$$

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.1. Uložení šikmého sloupu na ŽB patku

~ 93 ~

Zatížení na jeden kolík:

$$F_v = \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{7,66}{18} = 0,425 \text{ kN}$$

Síla vznikající od excentricity zatížení:

$$r_1 = 0 \text{ mm}; n_1 = 2 \text{ ks}; r_2 = 50 \text{ mm}; n_2 = 4 \text{ ks}; r_3 = 100 \text{ mm}; n_3 = 4 \text{ ks};$$

$$r_4 = 150 \text{ mm}; n_4 = 4 \text{ ks}; r_5 = 200 \text{ mm}; n_5 = 4 \text{ ks}$$

$$F_m = \frac{V_{Ed} \cdot e \cdot r_{max}}{\sum r_i^2 \cdot n_i} = \frac{7,66 \cdot 0,335 \cdot 0,2}{0,3} = 1,71 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{F_v^2 + F_m^2} = \sqrt{0,425^2 + 1,71^2} = 1,762 \text{ kN}$$

Charakteristická pevnost v otlačení ve dřevěném prvku – přesné otvory:

$$f_{h,0,d} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 7) \cdot 430 = 32,79 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,455 \text{ – Pro dřevo jehličnatých dřevin}$$

$$f_{h,\alpha,d} = \frac{f_{h,0,d}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{32,79}{1,455 \cdot \sin^2 0,78^\circ + \cos^2 0,78^\circ} = 32,79 \text{ MPa}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti kolíku:

$$M_{y,Rk} = 31930 \text{ MPa} \quad \text{– Převzato z tabulek ROTHOBLOSS}$$

Charakteristická únosnost jednoho kolíku:

- Jedná se o dvoustřižný spoj, kde ocelová deska libovolné tloušťky působí jako střední prvek dvojstrižného spoje.

$$t_1 = \frac{L_k - t_p}{2} = \frac{221 - 5}{2} = 108 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left| \frac{h_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{h_{h,\alpha,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right]}{2,3 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk} \cdot h_{h,\alpha,k} \cdot d}{h_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d}}} \right| =$$

$$F_{v,Rk} = \min \left| \frac{32,79 \cdot 108 \cdot 7 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 31930}{32,79 \cdot 7 \cdot 108^2}} - 1 \right]}{2,3 \cdot \sqrt{\frac{31930 \cdot 32,79 \cdot 7}{32,79 \cdot 108 \cdot 7}}} \right| = \min \left| \begin{matrix} 1,25 \cdot 10^4 \\ 6,23 \cdot 10^3 \\ 2,93 \cdot 10^4 \end{matrix} \right|$$

$$F_{v,Rk} = 6,23 \cdot 10^3 \text{ N} = 6,23 \cdot 10^1 \text{ kN}$$

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.1. Uložení šikmého sloupu na ŽB patku

~ 94 ~

Návrhová únosnost jednoho kolíku:

$$F_{V,Rd} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,rk}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{6,23 \cdot 10^1}{1,3} = 3,24 \text{ kN}$$

Účinný počet kolíků v řadě rovnoběžně s vlákny:

$$n_{0^\circ,ef} = \min \left| u^2 \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} = 2^2 \cdot \sqrt[4]{\frac{50}{13 \cdot 7}} = 1,607 \right| = 1,607$$

$$n_{90^\circ,ef} = 9$$

– Interpolace pro úhel α z hodnot:

$$\sum n_{0^\circ,ef} = m \cdot n_{0^\circ,ef} = 9 \cdot 1,607 = 14,459$$

$$\sum n_{90^\circ,ef} = u \cdot n_{90^\circ,ef} = 2 \cdot 9 = 18$$

$$n_{\alpha,ef} = 14,490$$

Posudek únosnosti kolíků na otláčení dřeva:

$$\frac{F_{v,Ed} \cdot n}{2 \cdot F_{V,Rd} \cdot n_{\alpha,ef}} \leq 1 \Rightarrow \frac{1,762 \cdot 18}{2 \cdot 3,24 \cdot 14,490} = 0,338 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posudek únosnosti kolíků ve stříhu:

$$F_{V,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_k}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 600 \cdot 3,85 \cdot 10^{-1}}{1,25} = 9,236 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{V,Rd}} \leq 1 \Rightarrow \frac{1,762}{9,236} = 0,191 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení únosnosti styčnickového plechu v otláčení:

$$a_b = \min \left[\begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{600}{510} = 1,176 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{50}{3 \cdot 7} = 2,381 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 = \frac{50}{3 \cdot 7} - 0,25 = 2,131 \end{array} \right] = 1,00$$

$$k_1 = \min \left[\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{150}{7} - 1,7 = 58,30 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{50}{7} - 1,7 = 8,30 \end{array} \right] = 2,50$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,00 \cdot 510 \cdot 7 \cdot 5}{1,25} = 3,57 \cdot 10^4 \text{ N} = 3,57 \cdot 10^1 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \Rightarrow \frac{1,762}{35,70} = 0,049 \leq 1$$

VYHOVUJE**Návrh a posouzení koutového svaru přípoje čelní desky se styčnickovým plechem:** $a_w = 3 \text{ mm}$ – účinná výška svaru $l = 480 \text{ mm}$ – účinná délka svaru $\beta_w = 0,9$ – korekční faktor pro ocel třídy S355

Excentricita vznikající od smykové síly:

– Vzdálenost osy čepu od svaru.

$$e = \frac{d_0}{2} + a + 50 + t_d = \frac{78}{2} + 81 + 50 + 35 = 205 \text{ mm}$$

Průřezová plocha svarového obrazce

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 480 \cdot 3 = 2,88 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$W_{el,w} = 2 \cdot \frac{a_w \cdot l^2}{6} = 4 \cdot \frac{3 \cdot 480^2}{6} = 2,30 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{7,66 \cdot 10^{-3}}{2,88 \cdot 10^3} = 2,66 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_{Ed} \cdot e}{W_{el,w}} + \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{7,66 \cdot 10^{-3} \cdot 205}{2,30 \cdot 10^5} + \frac{5,60 \cdot 10^{-1}}{2,88 \cdot 10^3} = 201,35 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{201,35}{\sqrt{2}} = 142,38 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1 \Rightarrow \frac{142,38 \cdot 1,25}{510} = 0,348 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{142,38^2 + 3 \cdot (142,38^2 + 2,66^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$284,80 \leq 453,33$$

VYHOVUJE

Návrh a posouzení čepového ložiska:

Čep – Třída pevnosti S355

$$f_{y,p} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{u,p} = 510 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Plech – Třída pevnosti S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

Výsledná síla zatěžující čep:

$$F_{v,Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{Ed}^2} = \sqrt{560,28^2 + 7,66^2} = 560,33 \text{ kN}$$

Tloušťka čepového plechu:

$$t_{p,1} \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{560,33 \cdot 1,0}{355 \cdot 10^3}} = 0,029 \text{ m}$$

– NÁVRH: 30 mm

Návrh geometrie plechu:

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t_{p,1} = 2,5 \cdot 30 = 75 \text{ mm}$$

– NÁVRH: 78 mm

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.1. Uložení šikmého sloupu na ŽB patku

~ 97 ~

$$d_{\text{čepu}} = 75 \text{ mm}$$

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t_{p,1} \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{560,33 \cdot 1,0}{2 \cdot 30 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{2 \cdot 78}{3} = 79,88 \text{ mm}$$

– NÁVRH: 81 mm

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t_{p,1} \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{560,33 \cdot 1,0}{2 \cdot 30 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{78}{3} = 53,88 \text{ mm}$$

– NÁVRH: 60 mm

Plocha průřezu čepu:

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot r_{\text{čepu}}^2 = \pi \cdot 37,5^2 = 4,42 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Únosnost čepu ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{u,p} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 510 \cdot 4,42 \cdot 10^3}{1,25} = 901,24 \text{ kN}$$

Posudek únosnosti čepu ve střihu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \Rightarrow \frac{560,33}{901,24} = 0,622 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení čepu v otlačení:

$$F_{b,Rd,\text{čep}} = 1,5 \cdot t_{p,1} \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 30 \cdot 75 \cdot \frac{355}{1,0} = 1130,63 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd,\text{čep}}} \leq 1 \Rightarrow \frac{560,33}{1130,63} = 0,496 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení plechu v otlačení:

$$F_{b,Rd,\text{plech}} = 1,5 \cdot 2 \cdot t_{p,2} \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 2 \cdot 30 \cdot 75 \cdot \frac{355}{1,0} = 2261,25 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd,\text{plech}}} \leq 1 \Rightarrow \frac{560,33}{2261,25} = 0,247 \leq 1$$

VYHOVUJE

Únosnost čepu v ohybu:

$$W_0 = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 30^3}{32} = 4,14 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$t_3 = 2 \text{ mm}$ – vzdálenost mezi plechy

$$M_{Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{8} \cdot (t_{p,1} + 2 \cdot t_{p,2} + 2 \cdot t_3) = \frac{560,33}{8} \cdot (30 + 2 \cdot 30 + 2 \cdot 2) = 6,86 \text{ kNm}$$

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.1. Uložení šikmého sloupu na ŽB patku

~ 98 ~

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_0 \cdot \frac{f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 4,14 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{355 \cdot 10^3}{1,0} = 22,05 \text{ kNm}$$

Posouzení čepu na ohyb:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1 \Rightarrow \frac{6,86}{22,05} = 0,311 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení čepu na kombinaci ohybu a střihu:

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1$$

$$\left(\frac{6,86}{22,05}\right)^2 + \left(\frac{560,33}{901,24}\right)^2 = 0,483 \leq 1$$

VYHOVUJE

Návrh a posouzení koutového svaru přípoje čelní desky k čepovému plechu:

$a_w = 4 \text{ mm}$	– účinná výška svaru
$l = 240 = \text{mm}$	– účinná délka svaru
$\beta_w = 0,9$	– korekční faktor pro ocel třídy S355

Excentricita vznikající od smykové síly:

– Vzdálenost osy čepu od svaru.

$$e = \frac{d_0}{2} + a + 50 = \frac{78}{2} + 81 + 50 = 170 \text{ mm}$$

Průřezová plocha svarového obrazce

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 240 \cdot 4 = 1,92 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$W_{el,w} = 2 \cdot \frac{a_w \cdot l^2}{6} = 4 \cdot \frac{4 \cdot 240^2}{6} = 7,68 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{7,66 \cdot 10^{-3}}{1,92 \cdot 10^3} = 3,99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_{Ed} \cdot e}{W_{el,w}} + \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{7,66 \cdot 10^{-3} \cdot 170}{7,68 \cdot 10^4} + \frac{5,60 \cdot 10^{-1}}{1,92 \cdot 10^3} = 308,76 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{308,76}{\sqrt{2}} = 218,33 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.1. Uložení šikmého sloupu na ŽB patku

~ 99 ~

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1 \Rightarrow \frac{218,33 \cdot 1,25}{510} = 0,535 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{218,33^2 + 3 \cdot (218,33^2 + 3,99^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$436,71 \leq 453,33$$

VYHOVUJE

Návrh a posouzení koutového svaru přípoje čepových plechů k patnímu plechu:

- Připojují se dva čepové lechy k patnímu plechu, síly se rovnoměrně rozloží mezi dva páry koutových svarů.

$a_w = 4 \text{ mm}$ – účinná výška svaru

$l = 350 \text{ mm}$ – účinná délka svaru

$\beta_w = 0,9$ – korekční faktor pro ocel třídy S355

Zatížení svarů:

$$R_x = R_x = 0,138 \text{ MN}$$

$$R_z = N_{Ed} = 0,524 \text{ MN}$$

$$V_{Ed} = \sqrt{R_x^2 + R_x^2} = \sqrt{0,138^2 + 0,138^2} = 0,195 \text{ MN}$$

Excentricita vznikající od smykové síly:

- Vzdálenost osy čepu od svaru.

$$e = \frac{d_0}{2} + a + 50 = \frac{78}{2} + 81 + 50 = 170 \text{ mm}$$

Průřezová plocha svarového obrazce

$$A_w = 4 \cdot l \cdot a = 4 \cdot 240 \cdot 6 = 5,60 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$W_{el,w} = 4 \cdot \frac{a_w \cdot l^2}{6} = 4 \cdot \frac{4 \cdot 350^2}{6} = 1,63 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{1,95 \cdot 10^{-1}}{5,60 \cdot 10^3} = 34,84 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_{Ed} \cdot e}{W_{el,w}} + \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{1,95 \cdot 10^{-1} \cdot 170}{1,63 \cdot 10^5} + \frac{5,24 \cdot 10^{-1}}{5,60 \cdot 10^3} = 296,6 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{296,6}{\sqrt{2}} = 209,73 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1 \Rightarrow \frac{209,73 \cdot 1,25}{510} = 0,514 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{209,73^2 + 3 \cdot (209,73^2 + 34,84^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$423,77 \leq 453,33$$

VYHOVUJE

Posouzení kotevních šroubů ŽB patky:

Zatížení kotevních šroubů:

$$R_x = R_x = 0,138 \text{ MN}$$

$$R_z = N_{Ed} = 0,524 \text{ MN}$$

$$V_{Ed} = \sqrt{R_x^2 + R_x^2} = \sqrt{0,138^2 + 0,138^2} = 0,195 \text{ MN}$$

Rozměry a materiál šroubů:

Šroub – Třída pevnosti 5.6

$d = 24 \text{ mm}$ - průměr šroubů

$A_s = 3,53 \cdot 10^{-2} \text{ mm}^2$ - průřezová plocha šroubů

$d_0 = 26 \text{ mm}$ - průměr otvorů

$f_{y,b} = 300 \text{ MPa}$ - mez kluzu šroubů

$f_{u,b} = 300 \text{ MPa}$ - mez pevnosti šroubů

$\alpha_v = 0,5$

$n = 4 \text{ ks}$ - počet šroubů ve spoji

$m = 2$ - počet řad ve spoji

$u = 2$ - počet sloupů ve spoji

Osová vzdálenosti šroubů:

$p_2 = \min 80 \text{ mm}$ – NÁVRH: 247 mm

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojení

7.1. Podstava

7.1.1. Uložení šikmého sloupu na ŽB patku

~ 101 ~

$$p_1 = \min 80 \text{ mm} \quad - \text{ NÁVRH: } 200 \text{ mm}$$

$$e_2 = \min 60 \text{ mm} \quad - \text{ NÁVRH: } 77 \text{ mm}$$

$$e_1 = \min 60 \text{ mm} \quad - \text{ NÁVRH: } 100 \text{ mm}$$

Příčné zatížení jednoho kotevního šroubu:

$$F_{v,Ed,1} = \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{195,094}{4} = 48,77 \text{ kN}$$

Únosnost jednoho kotevního šroubu ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 500 \cdot 3,53 \cdot 10^{-2}}{1,25} = 70,6 \text{ kN}$$

Posudek únosnosti kolíků ve střihu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \Rightarrow \frac{48,77}{70,6} = 0,691 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení únosnosti styčnickového plechu v otláčení:

$$a_b = \min \left| \begin{array}{c} 1,00 \\ \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{500}{510} = 0,98 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{100}{3 \cdot 26} = 4,141 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 = \frac{200}{3 \cdot 26} - 0,25 = 2,314 \end{array} \right| = 0,98$$

$$k_1 = \min \left| \begin{array}{c} 2,50 \\ 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{77}{724} - 1,7 = 6,59 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{323}{24} - 1,7 = 3,68 \end{array} \right| = 2,50$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,98 \cdot 510 \cdot 24 \cdot 15}{1,25} = 3,60 \cdot 10^5 \text{ N} = 3,60 \cdot 10^2 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \Rightarrow \frac{48,77}{360,00} = 0,135 \leq 1$$

VYHOVUJE

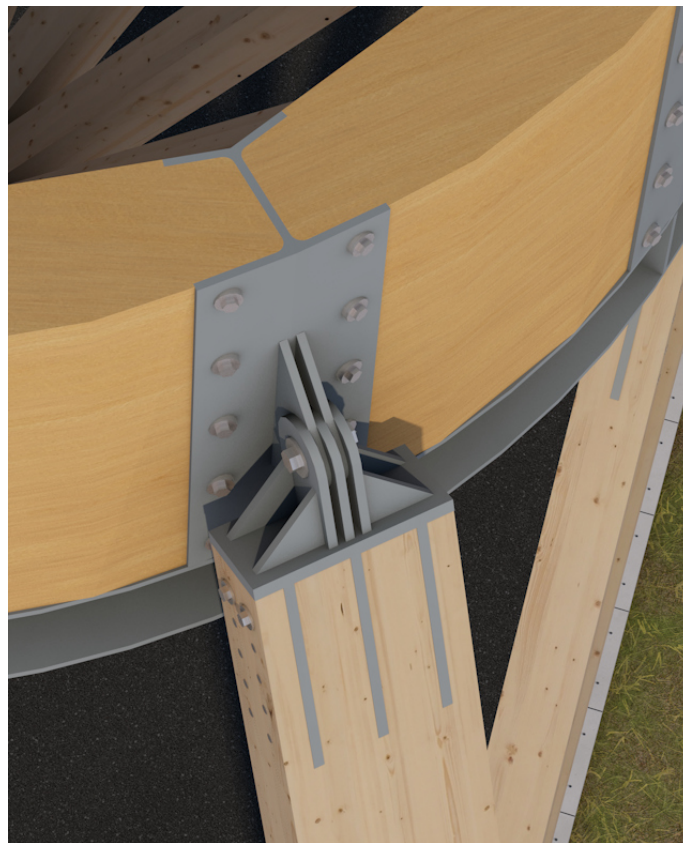
Posouzení únosnosti kotevních šroubů v tahu:

- Šrouby nejsou namáhány tahem.

7.1.2 Uložení šikmého sloupu na ocelovou skruž

Konstrukce zásobníku je uložena na šikmé sloupy pomocí ocelových čepů. Spoj je proveden na svislém sloupku ocelové skruže. Ocelový čep je třídy pevnosti S355 a průměru 38 mm. Čep je k šikmému sloupu podstavy připojen pomocí vsazeného ocelového plechu, který je připojen k hlavě šikmého sloupu pomocí 48 kolíků ROTHOBLOSS (třídy pevnosti 6.8) průměru 7 mm a délky 233mm. Tlaková normálová síla NENÍ přenášena čelní deskou z oceli třídy pevnosti S355 tloušťky 30 mm, ale je přenášena kolíky. Čepové ložisko je ukotveno ke sloupku skruže pomocí čepového plechu tloušťky 16 mm. Spoj není namáhán tahem. Svorníky zajišťující spoj jsou navrženy konstrukčně typu 4xM10.

Obrázek 7.1.2 – Uložení šikmého sloupu na ocelovou skruž (ilustrační vizualizace)



(viz. neodpovídá skutečnému návrhu)

Vnitřní síly

Tabulka 7.1.2 – Hlava šikmého sloupu - vnitřní síly

	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]
	Hlava sloupu		Svislý čepový plech	
Stálé zatížení	-22,59	3,62	-11,90	20,01
Tíha náplně	-87,46	9,96	-39,08	78,88
Kombinace zatížení sněhem	-6,54	0,25	-2,70	6,83
Kombinace zatížení větrem na střechu	-3,51	0,01	-1,53	4,26
Zatížení větrem na fasádu	-2,57	0,08	-0,80	2,45

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.2. Uložení šikmého sloupu na ocelovou skruž ~ 103 ~

Kombinace zatížení

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$1,35 \cdot G_{\text{STALE},k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{NÁPLŇ},k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{SNÍH},k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{VÍTR},k}$$

Kombinace vnitřních sil v hlavě sloupu

$$N_{\text{Ed,max}} = 1,35 \cdot (-22,59) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-87,46) + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (-6,54) + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (-3,51 - 2,57) = -173,04 \text{ kN} = -1,73 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$V_{\text{Ed}} = 1,35 \cdot 3,62 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 9,96 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,25 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0,01 + 0,08) = 20,13 \text{ kN}$$

Kombinace vnitřních sil na svislý čepový plech

$$N_{\text{Ed,max}} = 1,35 \cdot (-11,9) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-39,08) + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (-2,7) + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (-1,53 - 0,8) = -79,12 \text{ kN}$$

$$V_{\text{Ed}} = 1,35 \cdot 20,01 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 78,88 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 6,83 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (4,26 + 2,45) = 157,52 \text{ kN}$$

Charakteristiky připojovaného sloupu

Dřevo – GL32h, třída provozu 3.,

$$b = 500 \text{ mm}$$

$$h = 260 \text{ mm}$$

$$A = b \cdot h = 500 \cdot 260 = 1,30 \cdot 10^5 \text{ mm}^2$$

$$\rho_k = 430 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_M = 1,3 \text{ (pro spoje)}$$

Návrh a posouzení otlačení dřeva od čelní desky:

Rozměry a materiál čelní desky:

Plech – Třída pevnosti S355

$$t_d = 30 \text{ mm} \quad \text{-tloušťka čelní desky}$$

$$h_d = 500 \text{ mm} \quad \text{-výška čelní desky}$$

$$b_d = 260 \text{ mm} \quad \text{-šířka čelní desky}$$

$$f_{y,k} = 355 \text{ MPa} \quad \text{-mez kluzu čelní desky}$$

$$f_{u,k} = 510 \text{ MPa} \quad \text{-mez pevnosti čelní desky}$$

Rozměry a materiál styčnickového plechu:

Plech – Třída pevnosti S355

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.2. Uložení šikmého sloupu na ocelovou skruž ~ 104 ~

$t_p = 5 \text{ mm}$	- tloušťka styčnickového plechu
$h_p = 500 \text{ mm}$	- výška styčnickového plechu
$b_p = 370 \text{ mm}$	- šířka styčnickového plechu
$f_y = 355 \text{ MPa}$	- mez kluzu styčnickového plechu
$f_u = 510 \text{ MPa}$	- mez pevnosti styčnickového plechu
$\gamma_{M0} = 1,00$	
$\gamma_{M2} = 1,25$	

Návrh a posouzení kolíkového spoje:

Rozměry a materiál kolíku:

Kolík – Samovrtný kolík ROTHOBLOSS (Třída pevnosti 6.8)

$d = 7 \text{ mm}$	- průměr kolíků
$A_k = 3,85 \cdot 10^{-1} \text{ mm}^2$	- průřezová plocha kolíků
$L_k = 221 \text{ mm}$	- délka kolíků
$d_0 = 7 \text{ mm}$	- průměr otvorů pro kolíky
$f_{y,b} = 480 \text{ MPa}$	- mez kluzu kolíků
$f_{u,b} = 600 \text{ MPa}$	- mez pevnosti kolíků
$\alpha_v = 0,5$	
$n = 48ks$	- počet kolíků ve spoji
$m = 16$	- počet řad ve spoji
$u = 3$	- počet sloupců ve spoji

Osově vzdálenosti kolíků:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{M_{Ed} + V_{Ed}}{N_{Ed}} = \tan^{-1} \frac{0 + 20,13}{173,04} = 6,64^\circ$$

$a_1 = p_2 = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 34,9 \text{ mm}$	– NÁVRH: 35 mm
$a_2 = p_1 = 3 \cdot d = 21 \text{ mm}$	– NÁVRH: 26,66 mm
$a_{3,t} = e_2 = \max \left \frac{80}{7 \cdot d} \right = 80 \text{ mm}$	– NÁVRH: 150 mm
$a_{4,t} = e_1 = \max \left \frac{(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d}{3 \cdot d} \right = 21 \text{ mm}$	– NÁVRH: 50 mm

Excentricita vznikající od smykové síly:

– Vzdálenost osy čepu od středu otáčení kolíků.

$$e = 87,5 + \frac{38}{2} + 30 + \frac{370}{2} = 321,5 \text{ mm}$$

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.2. Uložení šikmého sloupu na ocelovou skruž ~ 105 ~

Zatížení na jeden kolík:

$$F_v = \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{20,13}{48} = 0,419 \text{ kN}$$

$$F_n = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{173,04}{48} = 3,605 \text{ kN}$$

Síla vznikající od excentricity zatížení:

$r_1 = 13,3 \text{ mm}; n_1 = 6 \text{ ks}; r_2 = 40 \text{ mm}; n_2 = 6 \text{ ks}; r_3 = 66,66 \text{ mm}; n_3 = 6 \text{ ks};$
 $r_4 = 93,33 \text{ mm}; n_4 = 6 \text{ ks}; r_5 = 120 \text{ mm}; n_5 = 6 \text{ ks}; r_6 = 146,66 \text{ mm}; n_6 = 6 \text{ ks}$
 $r_7 = 173,33 \text{ mm}; n_7 = 6 \text{ ks}; r_8 = 200 \text{ mm}; n_8 = 6 \text{ ks}$

$$F_m = \frac{V_{Ed} \cdot e \cdot r_{max}}{\sum r_i^2 \cdot n_i} = \frac{20,13 \cdot 0,321 \cdot 0,2}{0,725} = 1,78 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{(F_v + F_m)^2 + F_n^2} = \sqrt{(0,419 + 1,78)^2 + 3,605^2} = 4,426 \text{ kN}$$

Charakteristická pevnost v otlacení ve dřevěném prvku – přesné otvory:

$$f_{h,0,d} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 7) \cdot 430 = 32,79 \text{ MPa}$$

$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 7 = 1,455$ – Pro dřevo jehličnatých dřevin

$$f_{h,\alpha,d} = \frac{f_{h,0,d}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{32,79}{1,455 \cdot \sin^2 6,64^\circ + \cos^2 6,64^\circ} = 32,594 \text{ MPa}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti kolíku:

$$M_{y,Rk} = 31930 \text{ MPa} \quad \text{– Převzato z tabulek ROTHOBLOSS [44]}$$

Charakteristická únosnost jednoho kolíku:

- Jedná se o dvoustřížný spoj, kde ocelová deska libovolné tloušťky působí jako střední prvek dvojstřížného spoje.

$$t_1 = \frac{L_k - t_p}{2} = \frac{221 - 5}{2} = 108 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left| \frac{h_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{h_{h,\alpha,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right]}{2,3 \cdot \sqrt{M_{y,Rk} \cdot h_{h,\alpha,k} \cdot d}} \right| =$$

$$F_{v,Rk} = \min \left| \frac{32,59 \cdot 108 \cdot 7 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 31930}{32,59 \cdot 7 \cdot 108^2}} - 1 \right]}{2,3 \cdot \sqrt{31930 \cdot 32,59 \cdot 7}} \right| = \min \left| \frac{1,24 \cdot 10^4}{6,21 \cdot 10^3} \right|$$

$$F_{v,Rk} = 6,21 \cdot 10^3 \text{ N} = 6,21 \cdot 10^1 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost jednoho kolíku:

$$F_{v,Rd} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{6,21 \cdot 10^1}{1,3} = 3,10 \text{ kN}$$

Účinný počet kolíků v řadě rovnoběžně s vlákny:

$$n_{0^\circ, \text{ef}} = \min \left| u^2 \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} = 3^2 \cdot \sqrt[4]{\frac{35}{13 \cdot 7}} = 1,607 \right| = 2,117$$

$$n_{90^\circ, \text{ef}} = 16$$

– Interpolace pro úhel α z hodnot:

$$\sum n_{0^\circ, \text{ef}} = m \cdot n_{0^\circ, \text{ef}} = 16 \cdot 2,117 = 33,868$$

$$\sum n_{90^\circ, \text{ef}} = u \cdot n_{90^\circ, \text{ef}} = 3 \cdot 16 = 48$$

$$n_{\alpha, \text{ef}} = 34,910$$

Posudek únosnosti kolíků na otláčení dřeva:

$$\frac{F_{v,Ed} \cdot n}{2 \cdot F_{v,Rd} \cdot n_{\alpha, \text{ef}}} \leq 1 \Rightarrow \frac{4,226 \cdot 48}{2 \cdot 3,10 \cdot 34,910} = 0,936 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posudek únosnosti kolíků ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_k}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 600 \cdot 3,85 \cdot 10^{-1}}{1,25} = 9,236 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \Rightarrow \frac{4,226}{9,236} = 0,457 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení únosnosti styčnickového plechu v otláčení:

$$a_b = \min \left[\begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{600}{510} = 1,176 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{50}{3 \cdot 7} = 2,381 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 = \frac{26,666}{3 \cdot 7} - 0,25 = 1,020 \end{array} \right] = 1,00$$

$$k_1 = \min \left[\begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{150}{7} - 1,7 = 58,30 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{35}{7} - 1,7 = 5,30 \end{array} \right] = 2,50$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 1,00 \cdot 510 \cdot 7 \cdot 5}{1,25} = 3,57 \cdot 10^4 \text{ N} = 3,57 \cdot 10^1 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \Rightarrow \frac{4,226}{35,70} = 0,118 \leq 1$$

VYHOVUJE**Návrh a posouzení koutového svaru přípoje čelní desky se styčnickovým plechem:**

- $a_w = 3 \text{ mm}$ – účinná výška svaru
 $l = 480 \text{ mm}$ – účinná délka svaru
 $\beta_w = 0,9$ – korekční faktor pro ocel třídy S355

Excentricita vznikající od smykové síly:

- Vzdálenost osy čepu od svaru.

$$e = \frac{d_0}{2} + a + 50 + t_d = \frac{40}{2} + 50 + 50 + 30 = 150 \text{ mm}$$

Průřezová plocha svarového obrazce

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 480 \cdot 3 = 2,88 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$W_{el,w} = 2 \cdot \frac{a_w \cdot l^2}{6} = 4 \cdot \frac{3 \cdot 480^2}{6} = 2,30 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{2,01 \cdot 10^{-2}}{2,88 \cdot 10^3} = 6,99 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_{Ed} \cdot e}{W_{el,w}} + \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{2,01 \cdot 10^{-2} \cdot 150}{2,30 \cdot 10^{-3}} + \frac{1,73 \cdot 10^{-1}}{2,88 \cdot 10^{-3}} = 73,19 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{73,19}{\sqrt{2}} = 51,75 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1 \Rightarrow \frac{51,75 \cdot 1,25}{510} = 0,125 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{51,75^2 + 3 \cdot (51,75^2 + 6,99^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$104,22 \leq 453,33$$

VYHOVUJE

Návrh a posouzení čepového ložiska:

Čep – Třída pevnosti S355

$$f_{y,p} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{u,p} = 510 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Plech – Třída pevnosti S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

Výsledná síla zatěžující čep:

$$F_{V,Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{Ed}^2} = \sqrt{173,044^2 + 22,133^2} = 174,21 \text{ kN}$$

Tloušťka čepového plechu:

$$t_{p,1} \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{174,21 \cdot 1,0}{355 \cdot 10^3}} = 0,016 \text{ m}$$

– NÁVRH: 16 mm

Návrh geometrie plechu:

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t_{p,1} = 2,5 \cdot 16 = 40 \text{ mm}$$

– NÁVRH: 40 mm

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.2. Uložení šikmého sloupu na ocelovou skruž ~ 109 ~

$$d_{\text{čepu}} = 38 \text{ mm}$$

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t_{p,1} \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{173,044 \cdot 1,0}{2 \cdot 16 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{2 \cdot 38}{3} = 42,00 \text{ mm}$$

– NÁVRH: 50 mm

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t_{p,1} \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{173,044 \cdot 1,0}{2 \cdot 16 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{38}{3} = 28,67 \text{ mm}$$

– NÁVRH: 50 mm

Plocha průřezu čepu:

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot r_{\text{čepu}}^2 = \pi \cdot 19^2 = 1,13 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Únosnost čepu ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{u,p} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 510 \cdot 1,13 \cdot 10^3}{1,25} = 231,36 \text{ kN}$$

Posudek únosnosti čepu ve střihu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \Rightarrow \frac{173,04}{231,36} = 0,753 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení čepu v otlačení:

$$F_{b,Rd,\text{čep}} = 1,5 \cdot t_{p,1} \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 16 \cdot 38 \cdot \frac{355}{1,0} = 323,76 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd,\text{čep}}} \leq 1 \Rightarrow \frac{173,04}{323,76} = 0,538 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení plechu v otlačení:

$$F_{b,Rd,\text{plech}} = 1,5 \cdot 2 \cdot t_{p,2} \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 2 \cdot 16 \cdot 38 \cdot \frac{355}{1,0} = 647,52 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd,\text{plech}}} \leq 1 \Rightarrow \frac{173,04}{647,52} = 0,247 \leq 1$$

VYHOVUJE

Únosnost čepu v ohybu:

$$W_0 = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 38^3}{32} = 5,39 \cdot 10^3 \text{ mm}^3$$

$t_3 = 2 \text{ mm}$ – vzdálenost mezi plechy

$$M_{Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{8} \cdot (t_{p,1} + 2 \cdot t_{p,2} + 2 \cdot t_3) = \frac{173,04}{8} \cdot (16 + 2 \cdot 16 + 2 \cdot 2) = 1,22 \text{ kNm}$$

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.2. Uložení šikmého sloupu na ocelovou skruž ~ 110 ~

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_0 \cdot \frac{f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 5,39 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{355 \cdot 10^3}{1,0} = 2,87 \text{ kNm}$$

Posouzení čepu na ohyb:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1 \Rightarrow \frac{1,22}{2,87} = 0,425 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení čepu na kombinaci ohybu a střihu:

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1 \Rightarrow \left(\frac{1,22}{2,87}\right)^2 + \left(\frac{173,04}{231,36}\right)^2 = 0,748 \leq 1$$

VYHOVUJE

Návrh a posouzení koutového svaru přípoje čelní desky k čepovému plechu:

- $a_w = 3 \text{ mm}$ – účinná výška svaru
- $l = 240 \text{ mm}$ – účinná délka svaru
- $\beta_w = 0,9$ – korekční faktor pro ocel třídy S355

Excentricita vznikající od smykové síly:

$$e = \frac{d_0}{2} + a + 50 = \frac{40}{2} + 50 + 50 = 120 \text{ mm} \text{ – Vzdálenost osy čepu od svaru.}$$

Průřezová plocha svarového obrazce

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 240 \cdot 3 = 1,44 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$W_{el,w} = 2 \cdot \frac{a_w \cdot l^2}{6} = 4 \cdot \frac{3 \cdot 240^2}{6} = 5,76 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{2,01 \cdot 10^{-2}}{1,44 \cdot 10^3} = 13,98 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_{Ed} \cdot e}{W_{el,w}} + \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{72,01 \cdot 10^{-2} \cdot 120}{5,76 \cdot 10^{-5}} + \frac{1,73 \cdot 10^{-1}}{1,44 \cdot 10^{-3}} = 162,11 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{162,11}{\sqrt{2}} = 114,63 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1 \Rightarrow \frac{114,63 \cdot 1,25}{510} = 0,281 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.2. Uložení šikmého sloupu na ocelovou skruž ~ 111 ~

$$\sqrt{114,63 + 3 \cdot (114,63^2 + 13,98^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} \Rightarrow 230,54 \leq 453,33$$

VYHOVUJE***Návrh a posouzení koutového svaru přípoje čepových plechů ke skruži:***

Připojují se dva čepové lechy k patnímu plechu, síly se rovnoměrně rozloží mezi dva páry koutových svarů.

$a_w = 4 \text{ mm}$	– účinná výška svaru
$l = 350 \text{ mm}$	– účinná délka svaru
$\beta_w = 0,9$	– korekční faktor pro ocel třídy S355

Zatížení svarů:

$$N_{Ed} = 0,079 \text{ MN} \quad V_{Ed} = 0,158 \text{ MN}$$

Excentricita vznikající od smykové síly:

$$e = 350 \text{ mm} - \text{Vzdálenost osy čepu od svaru.}$$

Průřezová plocha svarového obrazce

$$A_w = 4 \cdot l \cdot a = 4 \cdot 350 \cdot 3 = 5,60 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$W_{el,w} = 4 \cdot \frac{a_w \cdot l^2}{6} = 4 \cdot \frac{4 \cdot 350^2}{6} = 1,63 \cdot 10^5 \text{ mm}^3$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{1,58 \cdot 10^{-1}}{5,60 \cdot 10^3} = 28,13 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_{Ed} \cdot e}{W_{el,w}} + \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{0,158 \cdot 125}{1,63 \cdot 10^{-4}} + \frac{0,079}{5,60 \cdot 10^{-3}} = 303,5 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{303,5}{\sqrt{2}} = \text{MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1 \Rightarrow \frac{214,58 \cdot 1,25}{510} = 0,526 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{214,58^2 + 3 \cdot (214,58^2 + 28,13^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} \Rightarrow 431,92 \leq 453,33$$

VYHOVUJE

7.1.3 Připojení vzpěr a táhel na šikmý sloup a skruž

Vzpěry a táhla jsou kloubově napojena na šikmé sloupy a ocelovou skruž pomocí ocelových čepů. Čepový plech na skruži tloušťky 20 mm je horizontálně přivařen zespodu skruže. Na vzpěru/táhlo je čepový plech tloušťky 20 mm připevněn pomocí čelní desky tloušťky 10 mm. Ocelový čep je třídy pevnosti S355 a průměru 48 mm. Čep je do vzpěr a táhel připojen pomocí vsazeného ocelového plechu, který je připojen do zhlaví hranolů pomocí 54 kolíků

Obrázek 7.1.3 – Připojení vzpěr a táhel na skruž (ilustrační vizualizace)



(vizualizace neodpovídá skutečnému návrhu)

ROTHOBLOSS (třídy pevnosti 6.8) průměru 7 mm a délky 173mm. Tlaková/Tahová normálová síla NENÍ přenášena čelní deskou z oceli třídy pevnosti S355 tloušťky 10 mm, ale je přenášena kolíky.

Svorníky zajišťující spoj jsou navrženy konstrukčně typu 2xM10.

Vnitřní síly ve vzpěře a táhle

Tabulka 7.1.3 – Připojení vzpěr a táhel na šikmý sloup a skruž - vnitřní síly

	$N_{Ed,max}$ [kN]	$N_{Ed,min}$ [kN]	V_{Ed} [kN]
Stálé zatížení	4,31	-22,29	0,11
Tíha náplně	57,15	-106,78	0,67
Kombinace zatížení sněhem	2,06	-3,85	0,00
Kombinace zatížení větrem na střeche	0,65	-2,48	0,00
Zatížení větrem na fasádu	0,00	-0,70	0,00

Kombinace zatížení

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$1,35 \cdot G_{\text{STALE},k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{NÁPLŇ},k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{SNÍH},k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{VÍTR},k}$$

$$N_{\text{Ed,max}} = 1,35 \cdot 4,31 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 57,15 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 2,06 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0,65 + 0,0)$$

$$= 93,98 \text{ kN} = 9,40 \cdot 10^4 \text{ N}$$

$$N_{\text{Ed,min}} = 1,35 \cdot (-22,29) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-106,78) + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (-3,85) + 0,6 \cdot 1,5$$

$$\cdot (-2,48 - 0,7) = -196,59 \text{ kN} = -1,97 \cdot 10^5 \text{ N}$$

$$V_{\text{Ed}} = 1,35 \cdot 0,11 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,67 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,0 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0,0 + 0,0) = 1,15 \text{ kN}$$

$$= 1,15 \cdot 10^3 \text{ N}$$

Vnitřní síly na vodorovný čepový plech na ocelové skruži

$$N_{\text{Ed,max}} = 1,35 \cdot (-25,13) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-175,29) + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (-6,01) + 0,6 \cdot 1,5$$

$$\cdot (-1,08 - 0,0) = -303,24 \text{ kN}$$

$$V_{\text{Ed}} = 1,35 \cdot 0,24 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 1 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 0,07 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (0,02 + 0,00) = 1,91 \text{ kN}$$

Vnitřní síly na svislém čepovém plechu na šikmém sloupu

$$N_{\text{Ed,max}} = 1,35 \cdot (-21,22) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-59,17) + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (-2,2) + 0,6 \cdot 1,5$$

$$\cdot (-0,67 - 0,0) = -119,99 \text{ kN}$$

$$V_{\text{Ed}} = 1,35 \cdot 60,45 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 175,29 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 6,01 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (1,41 + 2,21)$$

$$= 353,29 \text{ kN}$$

Charakteristiky připojovaného sloupu

Dřevo – GL32h, třída provozu 3.,

$$b = 180 \text{ mm}$$

$$h = 180 \text{ mm}$$

$$A = b \cdot h = 180 \cdot 180 = 3,24 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\rho_k = 430 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_M = 1,3 \text{ (pro spoje)}$$

Návrh a posouzení otláčení dřeva od čelní desky:

Rozměry a materiál čelní desky:

Plech – Třída pevnosti S355

$$t_d = 10 \text{ mm}$$

-tloušťka čelní desky

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.3. Připojení vzpěr a táhel na šikmý sloup a skruž ~ 114 ~

$h_d = 180 \text{ mm}$	-výška čelní desky
$b_d = 180 \text{ mm}$	-šířka čelní desky
$f_{y,k} = 355 \text{ MPa}$	-mez kluzu čelní desky
$f_{u,k} = 510 \text{ MPa}$	-mez pevnosti čelní desky

Rozměry a materiál styčnickového plechu:

Plech – Třída pevnosti S355

$t_p = 5 \text{ mm}$	- tloušťka styčnickového plechu
$h_p = 180 \text{ mm}$	- výška styčnickového plechu
$b_p = 580 \text{ mm}$	- šířka styčnickového plechu
$f_y = 355 \text{ MPa}$	- mez kluzu styčnickového plechu
$f_u = 510 \text{ MPa}$	- mez pevnosti styčnickového plechu
$\gamma_{M0} = 1,00$	
$\gamma_{M2} = 1,25$	

Návrh a posouzení kolíkového spoje:

Rozměry a materiál kolíku:

Kolík – Samovrtný kolík ROTHOBLOSS (Třída pevnosti 6.8)

$d = 7 \text{ mm}$	- průměr kolíků
$A_k = 3,85 \cdot 10^{-1} \text{ mm}^2$	- průřezová plocha kolíků
$L_k = 161 \text{ mm}$	- délka kolíků
$d_0 = 7 \text{ mm}$	- průměr otvorů pro kolíky
$f_{y,b} = 480 \text{ MPa}$	- mez kluzu kolíků
$f_{u,b} = 600 \text{ MPa}$	- mez pevnosti kolíků
$\alpha_v = 0,5$	
$n = 54ks$	- počet kolíků ve spoji
$m = 6$	- počet řad ve spoji
$u = 9$	- počet sloupců ve spoji

Osové vzdálenosti kolíků:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{M_{Ed} + V_{Ed}}{N_{Ed}} = \tan^{-1} \frac{0 + 1,15}{196,59} = 0,34^\circ$$

$$a_1 = p_2 = (3 + 2 \cdot \cos \alpha) \cdot d = 35 = \text{mm} \quad - \text{NÁVRH: } 35 \text{ mm}$$

$$a_2 = p_1 = 3 \cdot d = 21 \text{ mm} \quad - \text{NÁVRH: } 26 \text{ mm}$$

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.3. Připojení vzpěr a táhel na šikmý sloup a skruž ~ 115 ~

$$a_{3,t} = e_2 = \max \left| \frac{80}{7 \cdot d} \right| = 80 \text{ mm} \quad - \text{NÁVRH: } 150 \text{ mm}$$

$$a_{4,t} = e_1 = \max \left| \frac{(2 + 2 \cdot \sin \alpha) \cdot d}{3 \cdot d} \right| = 21 \text{ mm} \quad - \text{NÁVRH: } 25 \text{ mm}$$

Excentricita vznikající od smykové síly:

– Vzdálenost osy čepu od středu otáčení kolíků.

$$e = 87,5 + \frac{38}{2} + 10 + \frac{580}{2} = 406,5 \text{ mm}$$

Zatížení na jeden kolík:

$$F_v = \frac{V_{Ed}}{n} = \frac{1,15}{54} = 0,021 \text{ kN}$$

$$F_n = \frac{N_{Ed}}{n} = \frac{196,59}{54} = 3,641 \text{ kN}$$

Síla vznikající od excentricity zatížení:

$$r_1 = \frac{26}{2} \text{ mm}; \quad n_1 = 18 \text{ ks}; \quad r_2 = 39 \text{ mm}; \quad n_2 = 18 \text{ ks}; \quad r_3 = 65 \text{ mm}; \quad n_3 = 18 \text{ ks};$$

$$F_m = \frac{V_{Ed} \cdot e \cdot r_{max}}{\sum r_i^2 \cdot n_i} = \frac{1,15 \cdot 406,5 \cdot 0,065}{0,106} = 0,29 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = \sqrt{(F_v + F_m)^2 + F_n^2} = \sqrt{(0,021 + 0,29)^2 + 3,641^2} = 3,654 \text{ kN}$$

Charakteristická pevnost v otlačení ve dřevěném prvku – přesné otvory:

$$f_{h,0,d} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 7) \cdot 430 = 32,79 \text{ MPa}$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d = 1,35 + 0,015 \cdot 7 = 1,455 \quad - \text{Pro dřevo jehličnatých dřevin}$$

$$f_{h,\alpha,d} = \frac{f_{h,0,d}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{32,79}{1,455 \cdot \sin^2 0,34^\circ + \cos^2 0,34^\circ} = 32,791 \text{ MPa}$$

Charakteristický plastický moment únosnosti kolíku:

$$M_{y,Rk} = 31930 \text{ MPa} \quad - \text{Převzato z tabulek ROTHOBLOSS [44]}$$

Charakteristická únosnost jednoho kolíku:

– Jedná se o dvoustřižný spoj, kde ocelová deska libovolné tloušťky působí jako střední prvek dvojstrižného spoje.

$$t_1 = \frac{L_k - t_p}{2} = \frac{161 - 5}{2} = 78 \text{ mm}$$

$$F_{v,Rk} = \min \left| \frac{h_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot M_{y,Rk}}{h_{h,\alpha,k} \cdot d \cdot t_1^2}} - 1 \right]}{2,3 \cdot \sqrt{\frac{M_{y,Rk} \cdot h_{h,\alpha,k} \cdot d}{h_{h,\alpha,k} \cdot t_1 \cdot d}}} \right| =$$

$$F_{v,Rk} = \min \left| \frac{32,791 \cdot 78 \cdot 7 \cdot \left[\sqrt{2 + \frac{4 \cdot 31930}{32,791 \cdot 7 \cdot 78^2}} - 1 \right]}{2,3 \cdot \sqrt{\frac{31930 \cdot 32,791 \cdot 7}{32,791 \cdot 78 \cdot 7}}} \right| = \min \begin{vmatrix} 8,83 \cdot 10^3 \\ 6,23 \cdot 10^3 \\ 2,01 \cdot 10^4 \end{vmatrix}$$

$$F_{v,Rk} = 6,23 \cdot 10^3 \text{ N} = 6,23 \cdot 10^1 \text{ kN}$$

Návrhová únosnost jednoho kolíku:

$$F_{v,Rd} = k_{\text{mod}} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,65 \cdot \frac{6,23 \cdot 10^1}{1,3} = 3,11 \text{ kN}$$

Účinný počet kolíků v řadě rovnoběžně s vlákny:

$$n_{0^\circ, \text{ef}} = \min \left| \begin{matrix} u = 9 \\ u^2 \cdot \sqrt[4]{\frac{a_1}{13 \cdot d}} = 9 \cdot \sqrt[4]{\frac{35}{13 \cdot 7}} = 1,607 \end{matrix} \right| = 5,690$$

$$n_{90^\circ, \text{ef}} = 6$$

– Interpolace pro úhel α z hodnot:

$$\sum n_{0^\circ, \text{ef}} = m \cdot n_{0^\circ, \text{ef}} = 6 \cdot 5,690 = 34,137$$

$$\sum n_{90^\circ, \text{ef}} = u \cdot n_{90^\circ, \text{ef}} = 9 \cdot 6 = 54$$

$$n_{\alpha, \text{ef}} = 34,211$$

Posudek únosnosti kolíků na otlačení dřeva:

$$\frac{F_{v,Ed} \cdot n}{2 \cdot F_{v,Rd} \cdot n_{\alpha, \text{ef}}} \leq 1 \Rightarrow \frac{3,654 \cdot 54}{2 \cdot 3,11 \cdot 34,211} = 0,926 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posudek únosnosti kolíků ve stříhu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A_k}{\gamma_{M2}} = \frac{0,9 \cdot 600 \cdot 3,85 \cdot 10^{-1}}{1,25} = 9,236 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \Rightarrow \frac{3,654}{9,236} = 0,396 \leq 1$$

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.3. Připojení vzpěr a táhel na šikmý sloup a skruž ~ 117 ~

VYHOVUJE**Posouzení únosnosti styčnickového plechu v otláčení:**

$$a_b = \min \left| \begin{array}{l} \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{600}{510} = 1,176 \\ \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{25}{3 \cdot 7} = 1,190 \\ \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - 0,25 = \frac{26}{3 \cdot 7} - 0,25 = 0,998 \end{array} \right| = 0,998$$

$$k_1 = \min \left| \begin{array}{l} 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{150}{7} - 1,7 = 58,30 \\ 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{35}{7} - 1,7 = 5,30 \end{array} \right| = 2,50$$

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t_p}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,998 \cdot 510 \cdot 7 \cdot 5}{1,25} = 3,53 \cdot 10^4 \text{ N} = 3,53 \cdot 10^1 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd}} \leq 1 \Rightarrow \frac{3,654}{3,53 \cdot 10^1} = 0,103 \leq 1$$

VYHOVUJE**Návrh a posouzení koutového svaru přípoje čelní desky se styčnickovým plechem:** $a_w = 3 \text{ mm}$ – účinná výška svaru $l = 180 \text{ mm}$ – účinná délka svaru $\beta_w = 0,9$ – korekční faktor pro ocel třídy S355

Excentricita vznikající od smykové síly:

– Vzdálenost osy čepu od svaru.

$$e = \frac{d_0}{2} + a + 50 + t_d = \frac{50}{2} + 50 + 50 + 10 = 135 \text{ mm}$$

Průřezová plocha svarového obrazce

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 180 \cdot 3 = 1,08 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$W_{el,w} = 2 \cdot \frac{a_w \cdot l^2}{6} = 4 \cdot \frac{3 \cdot 180^2}{6} = 3,24 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{1,15 \cdot 10^{-3}}{1,08 \cdot 10^{-3}} = 1,07 \text{ MPa}$$

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.3. Připojení vzpěr a táhel na šikmý sloup a skruž ~ 118 ~

$$\sigma_w = \frac{V_{Ed} \cdot e}{W_{el,w}} + \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{1,07 \cdot 135 \cdot 10^{-3}}{3,24 \cdot 10^{-5}} + \frac{1,73 \cdot 10^{-1}}{1,08 \cdot 10^{-3}} = 186,83 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{186,83}{\sqrt{2}} = 132,11 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1 \Rightarrow \frac{132,11 \cdot 1,25}{510} = 0,324 \leq 1$$

VYHOVUJE

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \cdot \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{132,11^2 + 3 \cdot (132,11^2 + 1,07^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25}$$

$$263,29 \leq 453,33$$

VYHOVUJE

Návrh a posouzení čepového ložiska:

Čep – Třída pevnosti S355

$$f_{y,p} = 355 \text{ MPa}$$

$$f_{u,p} = 510 \text{ MPa}$$

$$\gamma_{M0} = 1,00$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

Plech – Třída pevnosti S355

$$f_y = 355 \text{ MPa}$$

$$f_u = 510 \text{ MPa}$$

Výsledná síla zatěžující čep:

$$F_{V,Ed} = \sqrt{N_{Ed}^2 + V_{Ed}^2} = \sqrt{196,589^2 + 1,1535^2} = 196,591 \text{ kN}$$

Tloušťka čepového plechu:

$$t_{p,1} \geq 0,7 \cdot \sqrt{\frac{F_{V,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{f_y}} = 0,7 \cdot \sqrt{\frac{196,59 \cdot 1,0}{355 \cdot 10^3}} = 0,017 \text{ m}$$

– NÁVRH: 20 mm

Návrh geometrie plechu:

$$d_0 \leq 2,5 \cdot t_{p,1} = 2,5 \cdot 20 = 50 \text{ mm}$$

– NÁVRH: 50 mm

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.3. Připojení vzpěr a táhel na šikmý sloup a skruž ~ 119 ~

$$d_{\text{čepu}} = 48 \text{ mm}$$

$$a \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t_{p,1} \cdot f_y} + \frac{2 \cdot d_0}{3} = \frac{196,591 \cdot 1,0}{2 \cdot 20 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{2 \cdot 38}{3} = 48,00 \text{ mm}$$

– NÁVRH: 50 mm

$$c \geq \frac{F_{v,Ed} \cdot \gamma_{M0}}{2 \cdot t_{p,1} \cdot f_y} + \frac{d_0}{3} = \frac{196,591 \cdot 1,0}{2 \cdot 20 \cdot 355 \cdot 10^3} + \frac{48}{3} = 31,34 \text{ mm}$$

– NÁVRH: 40 mm

Plocha průřezu čepu:

$$A = \pi \cdot r^2 = \pi \cdot r_{\text{čepu}}^2 = \pi \cdot 24^2 = 1,81 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

Únosnost čepu ve střihu:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{u,p} \cdot A}{\gamma_{M2}} = \frac{0,5 \cdot 510 \cdot 1,81 \cdot 10^3}{1,25} = 369,15 \text{ kN}$$

Posudek únosnosti čepu ve střihu:

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \Rightarrow \frac{196,591}{369,15} = 0,533 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení čepu v otlačení:

$$F_{b,Rd,\text{čep}} = 1,5 \cdot t_{p,1} \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 20 \cdot 48 \cdot \frac{355}{1,0} = 482,40 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd,\text{čep}}} \leq 1 \Rightarrow \frac{196,591}{482,40} = 0,407 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení plechu v otlačení:

$$F_{b,Rd,\text{plech}} = 1,5 \cdot 2 \cdot t_{p,2} \cdot d \cdot \frac{f_y}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 2 \cdot 20 \cdot 48 \cdot \frac{355}{1,0} = 964,80 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{b,Rd,\text{plech}}} \leq 1 \Rightarrow \frac{196,591}{964,80} = 0,203 \leq 1$$

VYHOVUJE

Únosnost čepu v ohybu:

$$W_0 = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot 48^3}{32} = 1,09 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$t_3 = 2 \text{ mm}$ – vzdálenost mezi plechy

$$M_{Ed} = \frac{F_{v,Ed}}{8} \cdot (t_{p,1} + 2 \cdot t_{p,2} + 2 \cdot t_3) = \frac{196,591}{8} \cdot (20 + 2 \cdot 20 + 2 \cdot 2) = 1,67 \text{ kNm}$$

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.3. Připojení vzpěr a táhel na šikmý sloup a skruž ~ 120 ~

$$M_{Rd} = 1,5 \cdot W_0 \cdot \frac{f_{y,p}}{\gamma_{M0}} = 1,5 \cdot 1,09 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{355 \cdot 10^3}{1,0} = 5,78 \text{ kNm}$$

Posouzení čepu na ohyb:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}} \leq 1 \Rightarrow \frac{1,67}{5,78} = 0,289 \leq 1$$

VYHOVUJE

Posouzení čepu na kombinaci ohybu a střihu:

$$\left(\frac{M_{Ed}}{M_{Rd}}\right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}}\right)^2 \leq 1 \Rightarrow \left(\frac{1,67}{5,78}\right)^2 + \left(\frac{196,591}{369,15}\right)^2 = 0,367 \leq 1$$

VYHOVUJE

Návrh a posouzení koutového svaru přípoje čelní desky k čepovému plechu:

- $a_w = 3 \text{ mm}$ – účinná výška svaru
- $l = 180 \text{ mm}$ – účinná délka svaru
- $\beta_w = 0,9$ – korekční faktor pro ocel třídy S355

Excentricita vznikající od smykové síly:

- Vzdálenost osy čepu od svaru.

$$e = \frac{d_0}{2} + a + 50 = \frac{50}{2} + 50 + 50 = 125 \text{ mm}$$

Průřezová plocha svarového obrazce

$$A_w = 2 \cdot l \cdot a = 2 \cdot 180 \cdot 3 = 1,08 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$W_{el,w} = 2 \cdot \frac{a_w \cdot l^2}{6} = 4 \cdot \frac{3 \cdot 180^2}{6} = 3,24 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{1,15 \cdot 10^{-3}}{1,08 \cdot 10^{-3}} = 1,07 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_{Ed} \cdot e}{W_{el,w}} + \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{1,15 \cdot 10^{-3} \cdot 125 \cdot 10^{-3}}{3,24 \cdot 10^{-5}} + \frac{197 \cdot 10^{-1}}{1,08 \cdot 10^{-3}} = 186,48 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{186,48}{\sqrt{2}} = 131,86 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \cdot \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1 \Rightarrow \frac{131,86 \cdot 1,25}{510} = 0,323 \leq 1$$

VYHOVUJE

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.3. Připojení vzpěr a táhel na šikmý sloup a skruž ~ 121 ~

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{131,86^2 + 3 \cdot (131,86^2 + 1,07^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} \Rightarrow 263,72 \leq 453,33$$

VYHOVUJE**Návrh a posouzení kout. svaru příp. čep. plechů ze spodu ke skruži:**

- Připojují se dva čepové lechy k patnímu plechu, síly se rovnoměrně rozloží mezi dva páry koutových svarů.

$a_w = 3 \text{ mm}$ – účinná výška svaru

$l = 300 \text{ mm}$ – účinná délka svaru

$\beta_w = 0,9$ – korekční faktor pro ocel třídy S355

Zatížení svarů:

$$N_{Ed} = 3,03 \cdot 10^{-1} \text{ MN} \quad V_{Ed} = 1,91 \cdot 10^{-3} \text{ MN}$$

Excentricita vznikající od smykové síly:

$$e = \frac{d_0}{2} + a + 50 + 150 = \frac{50}{2} + 50 + 50 + 150 = 275 \text{ mm}$$

Průřezová plocha svarového obrazce

$$A_w = 4 \cdot l \cdot a = 4 \cdot 300 \cdot 3 = 3,60 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$W_{el,w} = 4 \cdot \frac{a_w \cdot l^2}{6} = 4 \cdot \frac{3 \cdot 300^2}{6} = 9,00 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

Složky napětí působící ve svaru:

$$\tau_{\parallel} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{1,95 \cdot 10^{-1}}{3,60 \cdot 10^{-3}} = 0,53 \text{ MPa}$$

$$\sigma_w = \frac{V_{Ed} \cdot e}{W_{el,w}} + \frac{N_{Ed}}{A_w} = \frac{1,91 \cdot 10^{-3} \cdot 275 \cdot 10^{-3}}{9,00 \cdot 10^{-5}} + \frac{3,03 \cdot 10^{-1}}{3,60 \cdot 10^{-3}} = 90,1 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = \frac{\sigma_w}{\sqrt{2}} = \frac{90,1}{\sqrt{2}} = 63,68 \text{ MPa}$$

Posouzení svaru:

$$\frac{\sigma_{\perp} \gamma_{M2}}{f_u} \leq 1 \Rightarrow \frac{63,68 \cdot 1,25}{510} = 0,156 \leq 1 \quad \textbf{VYHOVUJE}$$

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}$$

$$\sqrt{63,68^2 + 3 \cdot (63,68^2 + 0,53^2)} \leq \frac{510}{0,9 \cdot 1,25} \Rightarrow 127,36 \leq 453,33$$

VYHOVUJE

Kapitola: 7. Návrh a posudek spojů

7.1. Podstava

7.1.3. Připojení vzpěr a táhel na šikmý sloup a skruž ~ 122 ~

7.2 Tělo zásobníku

7.2.1 Vnější plášť

Vnější plášť tvoří svislá prkna. Prkna nejsou podélně nadstavována. Každé prkno je přišroubováno do každého vodorovného prstence dvěma vruty. Osová vzdálenost prstenců bude 500mm nebo 1000mm. Staticky je vnější opláštění idealizováno jako spojitý nosník o dvou a více polích. Dominantním zatížením je sání větru. Prkna opláštění (C24) budou předvrtána, ale vodorovný prstenec (C24) předvrtán nebude.

Návrh: 2x Vrut Rothoblaas SCI A4,
 $d=5\text{ mm}$ $L=60\text{ mm}$.

Zatížení: Max. sání od větru činí -
 $1,721\text{ kN/m}^2$

Obrázek 7.2.1 – Vnější plášť
(ilustrační vizualizace)



Materiálové vlastnosti

- VRUT Rothoblaas SCI A4

(vrut se zapaštěnou hlavou pro exteriér, vhodný pro fasády, ocel nerezová austenická AISI 316 (A4))

$d = 5\text{ mm}$ – Jmenovitý průměr (vnější průměr závitové části)

$d_2 = 3,4\text{ mm}$ – Průměr jádra

$d_s = 3,7\text{ mm}$ – Průměr stopky

$d_v = 3,0\text{ mm}$ – Předvrtaný otvor

$d_h = 10\text{ mm}$ – Průměr hlavy vrutu

$L = 60\text{ mm}$ – Délka vrutu

$t_{\text{pen}} = 30\text{ mm}$ – Délka závitu

$A = 30\text{ mm}$ – Maximální tloušťka připevňované desky

$M_{y,Rk} = 3939,8\text{ MNm}$ – Charakteristický moment kluzu

$$f_{ax,k} = 17,9 \text{ MN/m}^2 \quad - \text{ Char. parametr odolnosti vůči vytažení}$$

$$f_{head,k} = 17,6 \text{ MN/m}^2 \quad - \text{ Char. parametr vniknutí hlavy}$$

$$f_{tens,k} = 4,3 \text{ kN} \quad - \text{ Charakteristická mez pevnosti v tahu}$$

$$\rho_{k1,2} = 350 \text{ kg/m}^3$$

$$\gamma_M = 1,3$$

$$k_{mod} = 0,7 \text{ (krátkodobé zatížení)}$$

Geometrie

Deska pláště:

$$t_1 = 22 \text{ mm}$$

$$b_1 = 144 \text{ mm}$$

Prstenec:

$$t_2 = 28 \text{ mm}$$

$$b_2 = 80 \text{ mm}$$

$$n = 2 \text{ ks}$$

Vnitřní síly

$$F_{ax,k} = 1,721 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,144 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 0,248 \text{ kN}$$

$$F_{ax,Ed} = F_{ax,k} \cdot \gamma_q = 0,248 \cdot 1,5 = 0,372 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = 0,35 \text{ kN/m}^3 \cdot 0,022 \text{ m} \cdot 0,144 \text{ m} \cdot 1 \text{ m} = 0,001 \text{ kN}$$

$$F_{v,Ed} = F_{v,k} \cdot \gamma_g = 0,248 \cdot 1,35 = 0,001 \cdot 1,35 = 0,002 \text{ kN}$$

Vruty zatížené příčně

- Předvrtané otvory budou pouze v prknech vnějšího opláštění, prstenec nebude předvrtaný.

$$\alpha_1 = 0^\circ \quad - \text{ Síla působí rovnoběžně s vlákny}$$

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot \rho_{k1} \cdot d_s^{-0,3} = 0,082 \cdot 350 \cdot 3,7^{-0,3} = 19,88 \text{ MPa}$$

$$\alpha_2 = 90^\circ \quad - \text{ Síla působí kolmo na vlákna}$$

$$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d_2) \cdot \rho_{k2} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 3,4) \cdot 350 = 27,72 \text{ MPa}$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{27,72}{19,88} = 1,395$$

$$n_{ef} = 2 \cdot 1 = 2 \quad - \text{ účinný počet vrutů ve spoji rovnoběžně s vlákny}$$

$$d_{\text{ef}} = 1,1 \cdot d_2 = 1,1 \cdot 3,4 = 3,74 \text{ mm}$$

$$F_{\text{v,Rk}} = \min \left[\begin{array}{l} \frac{f_{\text{h},1,\text{k}} t_1 d_{\text{ef}}}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \\ 1,05 \frac{f_{\text{h},1,\text{k}} t_1 d_{\text{ef}}}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) M_{\text{y,Rk}}}{f_{\text{h},1,\text{k}} d_{\text{ef}} t_1^2}} - \beta \right] \\ 1,05 \frac{f_{\text{h},1,\text{k}} t_2 d_{\text{ef}}}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2 (1 + \beta) + \frac{4\beta (1 + 2\beta) M_{\text{y,Rk}}}{f_{\text{h},1,\text{k}} d_{\text{ef}} t_2^2}} - \beta \right] \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{\text{y,Rk}} \cdot f_{\text{h},1,\text{k}} \cdot d_{\text{ef}}} \end{array} \right]$$

$$F_{\text{v,Rk}} = \min \left[\begin{array}{l} 1,64 \cdot 10^3 \\ 2,90 \cdot 10^3 \\ 8,50 \cdot 10^2 \\ 7,21 \cdot 10^2 \\ 7,44 \cdot 10^2 \\ 8,9 \cdot 10^2 \end{array} \right] = 7,21 \cdot 10^2 \text{ N}$$

$$F_{\text{v,Rd}} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot F_{\text{v,Rk}}}{\gamma_{\text{M}}} = \frac{0,65 \cdot 0,721}{1,3} = 0,360 \text{ kN}$$

ÚNOSNOST DVOU VRUTŮ:

– Vrutý jsou vedle sebe.

$$F_{\text{v,Rd}} = n_{\text{ef}} \cdot F_{\text{v,Rd}} = 2 \cdot 0,366 = 0,732 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{\text{v,Ed}}}{F_{\text{v,Rd}}} \leq 1 \Rightarrow \frac{0,002}{0,721} \leq 1 \Rightarrow 0,027 \leq 1$$

VYHOVUJE

Vruty zatížené osově

$$t_{\text{pen}} \geq 6d \rightarrow 30 \geq 6 \cdot 5 = 30 \text{ PLATÍ}$$

$\alpha = 90^\circ$ - úhel mezi silou ve vrutu a směrem vláken (kolmo na vlákna)

$$n_{\text{ef}} = n^{0,9} = 2 \cdot 1^{0,9} = 2$$

$$l_{\text{ef}} = t_{\text{pen}} - d = 30 - 5 = 25 \text{ mm}$$

$$f_{\text{ax},\alpha,k} = \frac{f_{\text{ax},k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{17,9}{\sin^2 90^\circ + 1,5 \cdot \cos^2 90^\circ} = 17,9 \text{ MPa}$$

$$F_{\text{ax,Rk}} = \min \left[\frac{f_{\text{tens},k}}{f_{\text{head},k} \cdot d_h^2}, \frac{f_{\text{ax},k}}{f_{\text{ax},k} \cdot d \cdot t_{\text{pen}}} \right] = \min \left[\frac{4,3 \cdot 10^3}{17,6 \cdot 10^2}, \frac{17,9 \cdot 5 \cdot 30}{2,69 \cdot 10^3} \right] = \min \left[\frac{4,30 \cdot 10^3}{1,76 \cdot 10^3}, \frac{2,69 \cdot 10^3}{2,69 \cdot 10^3} \right] = 1,76 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{\text{ax},\alpha,\text{Rk}} = (\pi \cdot d \cdot l_{\text{ef}})^{0,8} \cdot f_{\text{ax},\alpha,k} = (\pi \cdot 5 \cdot 25)^{0,8} \cdot 17,9 = 2,13 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{\text{ax,Rd}} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot F_{\text{ax,Rk}}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 1,76}{1,3} = 0,880 \text{ kN}$$

ÚNOSNOST DVOU VRUTŮ:

– Vruty jsou vedle sebe.

$$F_{\text{ax,Rd}} = n \cdot F_{\text{ax,Rd}} = 2 \cdot 0,880 = 1,760 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{\text{ax,Ed}}}{F_{\text{ax,Rd}}} \leq 1 \Rightarrow \frac{0,372}{1,732} \leq 1 \Rightarrow 0,196 \leq 1$$

VYHOVUJE

Vruty zatížené současně příčně a osově

$$\left(\frac{F_{\text{ax,Ed}}}{F_{\text{ax,Rd}}} \right)^2 + \left(\frac{F_{\text{v,Ed}}}{F_{\text{v,Rd}}} \right)^2 \leq 1 \Rightarrow \left(\frac{0,372}{1,760} \right)^2 + \left(\frac{0,002}{0,732} \right)^2 \leq 1 \Rightarrow 0,044 \leq 1$$

VYHOVUJE

Rozteče

$$a_{\text{min}} = 4d = 4 \cdot 5 = 20 \text{ mm}$$

- Vzdálenost \perp od okraje prstence: $80/4 = 20 \text{ mm}$ VYHOVUJE
- Vzdálenost \parallel od okraje prkna: $80/4 = 20 \text{ mm}$ VYHOVUJE
- Rozteč \perp mezi vruty: 100 mm VYHOVUJE
- Rozteč \parallel mezi vruty: *není*

7.2.2 Vnitřní plášť – posudek vrutového přípoje

Vnitřní plášť tvoří svislé vícevrstvé panely CLT. Každá jednotlivá plocha je vytvořena délkově nadstavovanými panely. Osová vzdálenost svislých sloupků je $l = 1,268 \text{ m}$. Panely CLT budou předvrtány. Zatížení v rovině panelu je způsobeno třením náplně o stěny vnitřního pláště. Je uvažován pás pláště šířky $b_1 = 1000 \text{ mm}$.

Kombinace zatížení

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$1,35 \cdot G_{\text{STALE},k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{VYPRAZDNOVANI},k}$$

Síly rovnoběžné s vnitřním pláštěm

$$g_k = 4,9 \cdot 1 \cdot 1,268 \cdot 0,81 = 5,03 \text{ kN}$$

$$q_k = p_{\text{we}} \cdot 1 \cdot 1,268 = 9,499 \cdot 1 \cdot 1,268 = 12,05 \text{ kN}$$

$$F_{\text{Ed}} = 1,35 \cdot 5,03 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 12,055 = 24,873 \text{ kN}$$

Síla na jednu řadu vrutů

$$F_{\text{Ed}} = \frac{F_{\text{Ed}}}{2} = \frac{24,873}{2} = 12,437 \text{ kN}$$

Materiálové vlastnosti

– VRUT Rothoblaas KKF AISI 410, $d=6 \text{ mm}$ $L=200 \text{ mm}$

$d = 6 \text{ mm}$ – Jmenovitý průměr (vnější průměr závitové části)

$d_2 = 4,05 \text{ mm}$ – Průměr jádra

$d_s = 4,3 \text{ mm}$ – Průměr stopky

$d_v = 4,0 \text{ mm}$ – Předvrtaný otvor

$d_h = 11,8 \text{ mm}$ – Průměr hlavy vrutu

$L = 200 \text{ mm}$ – Délka vrutu

$t_{\text{pen}} = 100 \text{ mm}$ – Délka závitu

$A = 100 \text{ mm}$ – Maximální tloušťka připevňované desky

$M_{y,Rk} = 9493,7 \text{ MNm}$ – Charakteristický moment kluzu

$f_{\text{ax},k} = 11,7 \text{ MN/m}^2$ – Char. parametr odolnosti vůči vytažení

$f_{\text{head},k} = 16,5 \text{ MN/m}^2$ – Char. parametr vniknutí hlavy

$f_{\text{tens,k}} = 11,3 \text{ kN}$ – Charakteristická mez pevnosti v tahu

$\gamma_M = 1,3$

$k_{\text{mod}} = 0,65$ (střednědobé zatížení)

Geometrie

– NOVATOP SOLID 81L, C24, $h=81 \text{ mm}$

$t_1 = 81 \text{ mm}$

$b_1 = 1000 \text{ mm}$

$\rho_{k1} = 490 \text{ kg/m}^3$

– DŘEVO rostlé C24

$t_2 = 300 \text{ mm}$

$b_2 = 100 \text{ mm}$

$\rho_{k2} = 350 \text{ kg/m}^3$

– Rozteč vrutů

$s = 62,5 \text{ mm}$

– počet vrutů ve spoji na jedné straně

$$n = \frac{b_1}{s} = \frac{1,0}{0,0625} = 16 \text{ ks}$$

Vruty zatížené příčně

$d_{\text{ef}} = 1,1 \cdot d_2 = 1,1 \cdot 4,05 = 4,455 \text{ mm}$

$\alpha_1 = 90^\circ$ – Síla působí kolmo na vlákna

$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot \rho_{k1} \cdot d_s^{-0,3} = 0,082 \cdot 490 \cdot 4,3^{-0,3} = 25,94 \text{ MPa}$

$\alpha_2 = 90^\circ$ – Síla působí kolmo na vlákna

$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d_2) \cdot \rho_{k2} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 4,05) \cdot 350 = 27,54 \text{ MPa}$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{27,54}{25,94} = 1,062$$

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k} t_1 d_{ef}}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d_{ef}}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d_{ef} t_1^2}} - \beta \right] \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d_{ef}}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2 (1 + \beta) + \frac{4\beta (1 + 2\beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d_{ef} t_2^2}} - \beta \right] \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d_{ef}} \end{array} \right]$$

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} 9,36 \cdot 10^3 \\ 1,23 \cdot 10^4 \\ 4,53 \cdot 10^3 \\ 3,43 \cdot 10^3 \\ 4,10 \cdot 10^3 \\ 1,73 \cdot 10^3 \end{array} \right] = 1,73 \cdot 10^3 \text{ N} = 1,73 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 1,73}{1,3} = 0,864 \text{ kN}$$

Únosnost všech vrutů

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rd} \cdot n = 0,864 \cdot 16 = 13,830 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{Ed}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \Rightarrow \frac{12,437}{13,830} \leq 1 \Rightarrow 0,899 \leq 1$$

VYHOVUJE

Rozteče

Sloupek bez předvrtání: $\alpha = 90^\circ$

$a_1 = 30 \text{ mm}$	– NÁVRH: 62,5 mm
$a_2 = 30 \text{ mm}$	– NÁVRH: není
$a_{3,t} = 60 \text{ mm}$	– NÁVRH: není
$a_{4,c} = 30 \text{ mm}$	– NÁVRH: 30 mm

Panel s předvrtáním: $\alpha = 90^\circ$

$a_1 = 24 \text{ mm}$	– NÁVRH: není
$a_2 = 24 \text{ mm}$	– NÁVRH: 62,5 mm
$a_{3,c} = 42 \text{ mm}$	– NÁVRH: 42 mm
$a_{4,c} = 18 \text{ mm}$	– NÁVRH: není

7.2.3 Vnitřní plášť - výztužná funkce

Vnitřní plášť tvoří svislé vícevrstvé panely CLT. Každá jednotlivá plocha je vytvořena délkově nadstavovanými panely. Osová vzdálenost svislých sloupků je $l = 1,268$ m. Panely CLT budou předvrtány.

Kombinace zatížení

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$1,35 \cdot G_{\text{STALE},k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{VYPRAZDNOVANI},k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{SNÍH},k} + 0,6 \cdot 1,5 \cdot Q_{\text{VÍTR},k}$$

Vnitřní síly v záklopu

Osová síla v náhradním táhlu

$$N_{\text{Ed}} = 1,35 \cdot 0,23 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 4,66 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot 1,24 + 0,6 \cdot 1,5 \cdot (1,63 + 1,25) = 11,01 \text{ kN}$$

Vodorovná návrhová síla

$$F_{\text{H,d,tot}} = N_{\text{Ed}} \cdot \sin \left(\arctg \frac{b_{\text{panelu}} = 1,268 \text{ m}}{h_{\text{panelu}} = 0,5 \text{ m}} \right) = 11,01 \cdot \sin 68,48^\circ = 10,241 \text{ kN}$$

Charakteristická výztužná únosnost jednoho panelu (Metoda A)

$$b_0 = \frac{h_{\text{panelu}}}{2} = \frac{0,5}{2} = 0,25 \text{ m}$$

$$c = \begin{cases} 1,0 & \text{pro } b \geq b_0 \\ \frac{b}{b_0} & \text{pro } b < b_0 \end{cases} = 1,00$$

$$F_{\text{v,Rd}} = \frac{F_{\text{v,Rd}} \cdot b_{\text{panelu}} \cdot c}{s} = \frac{0,864 \cdot 1,268 \cdot 1}{0,0625} = 17,536 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{\text{H,d}}}{F_{\text{v,Rd}}} \leq 1 \Rightarrow \frac{10,241}{17,536} \leq 1 \Rightarrow 0,584 \leq 1$$

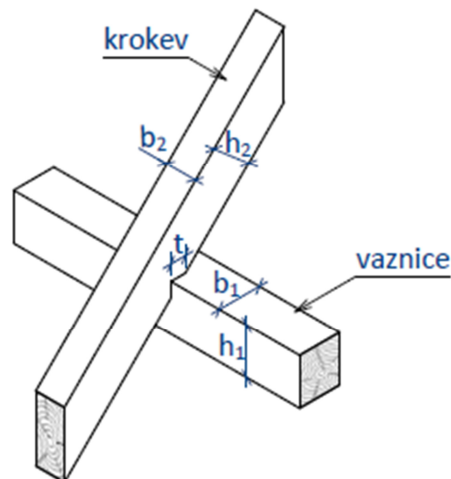
VYHOVUJE

7.3 Zastřešení

7.3.1 Osedlání krokve na prstenec

Osedlání je standartní tesařský spoj. Délka osedlání $t = 80$ mm. Spoj je zajištěn stavebním vrutem ROTHOBLAAS TBS se širokou hlavou.

Obrázek 7.3.1 – Osedlání



(ilustrační schéma)

Vnitřní síly

Tlak v kombinaci s ohybem v osedlání.

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot (-0,8) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-0,75) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-3,09) = -6,84 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y,přísl} = 1,35 \cdot (-0,01) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-0,29) + 1,0 \cdot 1,5 \cdot (-0,35) = 0,97 \text{ kN kNm}$$

$$M_{Ed,z,přísl} = 1,35 \cdot 0,0 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,0 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,00 = 0,0 \text{ kNm}$$

Posouvající síla je maximální v místě osedlání na prstenec.

$$V_{Ed} = 1,35 \cdot 0,06 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,66 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 1,54 = 3,38 \text{ kN}$$

Geometrické charakteristiky

Krokev: $b_2 = 80 \text{ mm}, \quad h_2 = 120 \text{ mm}$

Sklon krokve: $\sin \alpha = 30^\circ$

Prstenec: $b_1 = 300 \text{ mm}, \quad h_1 = 100 \text{ mm}$

Délka odeslání: $t = 80 \text{ mm}$

Hloubka zářezu: $t_2 = t \cdot \sin \alpha = 80 \cdot \sin 30^\circ = 40 \text{ mm}$

Oslabená krokev: $h_{skut} = h_2 - t_2 = 120 - 40 = 80 \text{ mm}$

Délka čelní plochy: $t_v = t \cdot \tan \alpha = 80 \cdot \tan 30^\circ = 46,19 \text{ mm}$

Excentricita osové síly v oslabeném průřezu:

$$e_y = \frac{h_2}{2} - \frac{h_{skut}}{2} = \frac{120}{2} - \frac{80}{2} = 20 \text{ mm}$$

Síla působící na sedlo:

$$F_V = -N_{Ed} \cdot \sin \alpha + V_{Ed} \cdot \cos \alpha = +6,48 \cdot \sin \alpha + 3,381 \cdot \cos \alpha = 6,348 \text{ kN}$$

Síla působící na zajišťovací prostředek:

$$F_H = N_{Ed} \cdot \cos \alpha + V_{Ed} \cdot \sin \alpha = -6,48 \cdot \cos \alpha + 3,381 \cdot \sin \alpha = -4,233 \text{ kN}$$

Materiálové charakteristiky

– Rostlé dřevo C24

$$f_{m,k} = 24,0 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,k} = 10,5 \text{ MPa}$$

$$f_{v,k} = 4,0 \text{ MPa}$$

$$E_{0,05} = 7400 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = 1,30$$

$$k_{mod} = 0,65 \text{ (střednědobé zatížení)}$$

$$k_m = 0,7 \text{ (součinitel vlivu nehomogenit a redistribuce napětí)}$$

$$k_{cr} = 0,67 \text{ (součinitel vlivu výsušných trhlin)}$$

Krokv - posouzení kombinace ohybu a tlaku v oslabeném průřezu

$$A_V = b_2 \cdot h_{skut} = 80 \cdot 80 = 6,40 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$W_y = \frac{1}{6} \cdot b_2 \cdot h_{skut}^2 = \frac{1}{6} \cdot 80^3 = 8,53 \cdot 10^4 \text{ mm}^3$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,y} + N_{Ed} \cdot e_y}{W_y} = \frac{3,25 \cdot 10^{-2}}{8,53 \cdot 10^{-5}} = 9,805 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed}}{A_V} = \frac{6,84 \cdot 10^{-3}}{6,00 \cdot 10^{-2}} = 1,069 \text{ MPa}$$

$$f_{c,0,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{c,0,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 21}{1,30} = 10,50 \text{ MPa}$$

$$f_{m,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{m,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 24,0}{1,30} = 12,00 \text{ MPa}$$

Posudek:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \Rightarrow \left(\frac{1,069}{10,50} \right)^2 + \frac{9,805}{12,00} \leq 1 \Rightarrow 0,80,7 \leq 1$$

VYHOVUJE

Krokv - posudek na smyk v oslabeném průřezu

$$A_V = b_2 \cdot h_{skut} = 80 \cdot 80 = 6,40 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{Ed}}{2 \cdot k_{cr} \cdot A_V} = \frac{3 \cdot 3,38 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,67 \cdot 6,40 \cdot 10^{-3}} = 1,183 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 4,0}{1,30} = 2,00 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = 1,183 \text{ MPa} < f_{v,d} = 2,000 \text{ MPa} \Rightarrow 0,591 \leq 1$$

VYHOVUJE***Prstenec - posudek na blokový smyk***

$$A_V = 2 \cdot t \cdot t_v \cdot 0,5 + b_2 \cdot \sqrt{t^2 \cdot t_v^2} = 2 \cdot 80 \cdot 46,19 \cdot 0,5 + 80 \cdot \sqrt{80^2 \cdot 46,19^2}$$
$$= 1,11 \cdot 10^4 \text{ mm}^2$$

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot N_{Ed}}{2 \cdot k_{cr} \cdot A_V} = \frac{3 \cdot 6,84 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 0,67 \cdot 1,11 \cdot 10^{-2}} = 1,183 \text{ MPa}$$

$$f_{v,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 4,0}{1,30} = 2,00 \text{ MPa}$$

$$\tau_{v,d} = 1,183 \text{ MPa} < f_{v,d} = 2,000 \text{ MPa} \Rightarrow 0,691 \leq 1$$

VYHOVUJE***Prstenec - posudek sedla v tlaku kolmo na vlákna***

$$A = b_2 \cdot t = 80 \cdot 80 = 6,40 \cdot 10^3 \text{ mm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_V}{A} = \frac{6,35 \cdot 10^{-3}}{9,60 \cdot 10^{-3}} = 0,992 \text{ MPa}$$

$$f_{c,90,d} = \frac{k_{mod} \cdot f_{v,k}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 2,5}{1,30} = 1,25 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{c,90,d} = 0,992 \text{ MPa} < f_{c,90,d} = 1,25 \text{ MPa} \Rightarrow 0,794 \leq 1$$

VYHOVUJE

7.3.2 Odolnost záklopu proti sání větru

Vnější plášť tvoří svislá desky CLT NOVATOP STATIC 45Q. Každá jednotlivá deska tvoří jednu plochu jehlanové střechy, tudíž nejsou žádné další spoje desek zapotřebí. Největší osová vzdálenost krokví je 1500mm. Dominantním osovým zatížením vrutů je sání větru. Záklop nebude předvrtán.

Odolnost proti sání bude posouzena na zónu „F“ ($w_k^{F-} = -1,279$), podél okapu, v šíři 660mm.

Kombinace zatížení

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$1,35 \cdot G_{STALE,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{VÍTR,k}$$

$$\sum (q_d + g_d) = 1,35 \cdot (0,045 \cdot 1 \cdot 4,9) \cdot 0,66 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot -1,279 \cdot 0,66 = -1,70 \text{ kN/m}$$

Vnitřní síly

$$F_{ax,Ed} = \frac{1}{2} \cdot (q_d + g_d) \cdot l_{ef} = \frac{1}{2} \cdot (-1,70) \cdot 1,500 = -0,81 \text{ kN} = -8,02 \cdot 10^{-4} \text{ MN}$$

Materiálové vlastnosti

- VRUT Rothoblaas SCI A4, d=5 mm L=100 mm
(vrut se zapuštěnou hlavou pro exteriér, vhodný pro fasády, ocel nerezová austenická AISI 316 (A4))

$d = 5 \text{ mm}$ – Jmenovitý průměr (vnější průměr závitové části)

$d_2 = 3,4 \text{ mm}$ – Průměr jádra

$d_s = 3,7 \text{ mm}$ – Průměr stopky

$d_h = 10 \text{ mm}$ – Průměr hlavy vrutu

$L = 100 \text{ mm}$ – Délka vrutu

$t_{pen} = 50 \text{ mm}$ – Délka závitu

$A = 50 \text{ mm}$ – Maximální tloušťka připevňované desky

$f_{ax,k} = 17,9 \text{ MN/m}^2$ – Char. parametr odolnosti vůči vytažení

$f_{head,k} = 17,6 \text{ MN/m}^2$ – Char. parametr vniknutí hlavy

$f_{tens,k} = 4,3 \text{ kN}$ – Charakteristická mez pevnosti v tahu

$\gamma_M = 1,3$

$$k_{\text{mod}} = 0,65 \text{ (střednědobé zatížení)}$$

Vruty zatížené osově

$$t_{\text{pen}} \geq 6d \rightarrow 50 \geq 6 \cdot 5 = 30 \text{ PLATÍ}$$

$\alpha = 90^\circ$ - úhel mezi silou ve vrutu a směrem vláken (kolmo na vlákna)

$$n_{\text{ef}} = n^{0,9} = 1,737 \cdot 1^{0,9} = 1,737$$

$$l_{\text{ef}} = t_{\text{pen}} - d = 50 - 5 = 45 \text{ mm}$$

$$f_{\text{ax},\alpha,k} = \frac{f_{\text{ax},k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{17,9}{\sin^2 90^\circ + 1,5 \cdot \cos^2 90^\circ} = 17,9 \text{ MPa}$$

$$F_{\text{ax},\text{Rk}} = \min \left[\frac{f_{\text{tens},k}}{f_{\text{head},k} \cdot d_h^2}, \frac{f_{\text{ax},k} \cdot d \cdot t_{\text{pen}}}{f_{\text{ax},k} \cdot d \cdot t_{\text{pen}}} \right] = \min \left[\frac{4,3 \cdot 10^3}{17,6 \cdot 10^2}, \frac{4,30 \cdot 10^3}{4,48 \cdot 10^3}, \frac{1,76 \cdot 10^3}{1,76 \cdot 10^3} \right] = 1,76 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{\text{ax},\alpha,\text{Rk}} = (\pi \cdot d \cdot l_{\text{ef}})^{0,8} \cdot f_{\text{ax},\alpha,k} = (\pi \cdot 5 \cdot 45)^{0,8} \cdot 17,9 = 3,41 \cdot 10^3 \text{ N}$$

$$F_{\text{ax},\text{Rd}} = \frac{k_{\text{mod}} \cdot F_{\text{ax},\text{Rk}}}{\gamma_{\text{M}}} = \frac{0,65 \cdot 1,76}{1,3} = 0,880 \text{ kN}$$

$$F_{\text{ax},\text{Ed}} = n \cdot F_{\text{ax},\text{Rd}} = 1,737 \cdot 0,880 = 1,528 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{\text{ax},\text{Ed}}}{F_{\text{ax},\text{Rd}}} \leq 1 \Rightarrow \frac{0,802}{1,528} \leq 1 \Rightarrow 0,52,49 \leq 1$$

VYHOVUJE

Vruty zatížené současně příčně a osově

$$\left(\frac{F_{\text{ax},\text{Ed}}}{F_{\text{ax},\text{Rd}}} \right)^2 + \left(\frac{F_{\text{v},\text{Ed}}}{F_{\text{v},\text{Rd}}} \right)^2 \leq 1 \Rightarrow \left(\frac{0,802}{1,528} \right)^2 + \left(\frac{1,114}{2,041} \right)^2 \leq 1 \Rightarrow 0,573 \leq 1$$

VYHOVUJE

Rozteče

$$a_{\text{min}} = 4d = 4 \cdot 5 = 20 \text{ mm}$$

- Vzdálenost \perp od okraje krokve: $80/4 = 20 \text{ mm}$ VYHOVUJE
- Vzdálenost \parallel od okraje panelu: $80/4 = 20 \text{ mm}$ VYHOVUJE
- Rozteč \perp mezi vruty: 380 mm VYHOVUJE
- Rozteč \parallel mezi vruty: *není*

7.3.3 Výztužná funkce záklopu

Vnější plášť tvoří svislá desky CLT NOVATOP STATIC 45Q. Každá jednotlivá deska tvoří jednu plochu jehlanové střechy, tudíž nejsou žádné další spoje desek zapotřebí. Největší osová vzdálenost krokví je 1500mm. Záklop bude předvrtán.

Kombinace zatížení

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$1,35 \cdot G_{STALE,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{SNÍH,k} + 1,0 \cdot 1,5 \cdot Q_{VÍTR,k}$$

Vnitřní síly v záklopu

Osová síla v náhradním táhlu

$$N_{Ed} = 1,35 \cdot 0,12 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,54 + 1,0 \cdot 1,5 \cdot 0,55 = 1,797 \text{ kN}$$

Vodorovná návrhová síla

$$F_{H,d,tot} = N_{Ed} \cdot \sin\left(\arctg \frac{b_{panelu} = 1,5 \text{ m}}{h_{panelu} = 1,9 \text{ m}}\right) = 1,797 \cdot \sin 38,29^\circ = 1,11 \text{ kN}$$

Materiálové vlastnosti

– VRUT Rothoblaas SCI A4, d=5 mm L=100 mm

$d = 5 \text{ mm}$ – Jmenovitý průměr (vnější průměr závitové části)

$d_2 = 3,4 \text{ mm}$ – Průměr jádra

$d_s = 3,7 \text{ mm}$ – Průměr stopky

$d_v = 3,0 \text{ mm}$ – Předvrtaný otvor

$d_h = 10 \text{ mm}$ – Průměr hlavy vrutu

$L = 100 \text{ mm}$ – Délka vrutu

$t_{pen} = 30 \text{ mm}$ – Délka závitu

$A = 50 \text{ mm}$ – Maximální tloušťka připevňované desky

$M_{y,Rk} = 3939,8 \text{ MNm}$ – Charakteristický moment kluzu

$f_{ax,k} = 17,9 \text{ MN/m}^2$ – Char. parametr odolnosti vůči vytažení

$f_{head,k} = 17,6 \text{ MN/m}^2$ – Char. parametr vniknutí hlavy

$f_{tens,k} = 4,3 \text{ kN}$ – Charakteristická mez pevnosti v tahu

$\gamma_M = 1,3$

$$k_{\text{mod}} = 0,65 \text{ (střednědobé zatížení)}$$

Geometrie

– NOVATOP STATIC 45Q

$$t_1 = 45 \text{ mm}$$

$$b_1 = 1000 \text{ mm}$$

$$\rho_{k1} = 490 \text{ kg/m}^3$$

– DŘEVO rostlé C24

$$t_2 = 55 \text{ mm}$$

$$b_2 = 80 \text{ mm}$$

$$\rho_{k2} = 350 \text{ kg/m}^3$$

– Rozteč vrutů

$$s = 380 \text{ mm}$$

– počet vrutů ve spoji na jedné straně

$$n = \frac{h_{\text{panelu}}}{s} = \frac{1,9}{0,380} = 5 \text{ ks}$$

Vruty zatížené příčně

$$d_{\text{ef}} = 1,1 \cdot d_2 = 1,1 \cdot 3,4 = 3,74 \text{ mm}$$

$$\alpha_1 = 90^\circ \quad \text{– Síla působí kolmo na vlákna}$$

$$f_{h,1,k} = 0,082 \cdot \rho_{k1} \cdot d_s^{-0,3} = 0,082 \cdot 490 \cdot 3,7^{-0,3} = 27,14 \text{ MPa}$$

$$\alpha_2 = 90^\circ \quad \text{– Síla působí kolmo na vlákna}$$

$$f_{h,2,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d_2) \cdot \rho_{k2} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 3,4) \cdot 350 = 27,72 \text{ MPa}$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = \frac{27,72}{27,14} = 1022$$

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} \frac{f_{h,1,k} t_1 d_{ef}}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_1 d_{ef}}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4\beta \cdot (2 + \beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d_{ef} t_1^2}} - \beta \right] \\ 1,05 \frac{f_{h,1,k} t_2 d_{ef}}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2 (1 + \beta) + \frac{4\beta (1 + 2\beta) M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d_{ef} t_2^2}} - \beta \right] \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,Rk} \cdot f_{h,1,k} \cdot d_{ef}} \end{array} \right]$$

$$F_{v,Rk} = \min \left[\begin{array}{l} 4,57 \cdot 10^3 \\ 2,90 \cdot 10^3 \\ 1,62 \cdot 10^3 \\ 1,70 \cdot 10^3 \\ 1,13 \cdot 10^3 \\ 1,03 \cdot 10^3 \end{array} \right] = 1,03 \cdot 10^3 \text{ N} = 1,034 \text{ kN}$$

$$F_{v,Rd} = \frac{k_{mod} \cdot F_{v,Rk}}{\gamma_M} = \frac{0,65 \cdot 1,034}{1,3} = 0,517 \text{ kN}$$

Charakteristická výztužná únosnost jednoho panelu (Metoda A)

$$b_0 = \frac{h_{panelu}}{2} = \frac{1,9}{2} = 0,95 \text{ m}$$

$$c = \begin{cases} 1,0 & \text{pro } b \geq b_0 \\ \frac{b}{b_0} & \text{pro } b < b_0 \end{cases} = 1,00$$

$$F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rd} \cdot b_{panelu} \cdot c}{s} = \frac{0,517 \cdot 1,5 \cdot 1}{0,38} = 2,041 \text{ kN}$$

$$\frac{F_{H,d}}{F_{v,Rd}} \leq 1 \Rightarrow \frac{1,114}{2,041} \leq 1 \Rightarrow 0,546 \leq 1$$

VYHOVUJE

Vruty zatížené současně příčně a osově

$$\left(\frac{F_{ax,Ed}}{F_{ax,Rd}} \right)^2 + \left(\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} \right)^2 \leq 1 \Rightarrow \left(\frac{0,802}{1,528} \right)^2 + \left(\frac{1,114}{2,041} \right)^2 \leq 1 \Rightarrow 0,573 \leq 1$$

VYHOVUJE

RoztečeKrokev bez předvrtání: $\alpha = 90^\circ$ $a_1 = 60 \text{ mm}$ – NÁVRH: 380 mm $a_2 = 25 \text{ mm}$ – NÁVRH: není $a_{3,t} = 75 \text{ mm}$ – NÁVRH: není $a_{4,c} = 25 \text{ mm}$ – NÁVRH: 25 mmPanel s předvrtáním: $\alpha = 90^\circ$ $a_1 = 20 \text{ mm}$ – NÁVRH: není $a_2 = 20 \text{ mm}$ – NÁVRH: 380 mm $a_{3,c} = 35 \text{ mm}$ – NÁVRH: 35 mm $a_{4,c} = 15 \text{ mm}$ – NÁVRH: není

8. Konstrukční a chemická ochrana dřeva

Konstrukční ochrana dřeva

- Konstrukční prvky jsou navrženy z vrstveného dřeva vysoké kvality
- Čelní plochy hranolů jsou zakryty ocelovými čelními deskami
- Pokud to zatížení dovoluje je mezi čelní deskou a čelem hranolu vzduchová mezera 10mm.
- Přesah střechy je navržen 0,5 metru od líce fasády.
- Střecha je vybavena oplechováním a dvojicí svodů.
- Venkovní obložení prkny je horizontální, vnitřní dutina je provětrávaná.
- U všech prvků je zajištěno odpařování vlhkosti větráním.
- Spodní hrana obložení bude vybavena okapnicí proti odkapávání vody na šikmé sloupy.
- Hlavičky kolíků jsou zapuštěny a zakryty záslepkou
- Opracované části dřeva budou znovu ošetřeny ochranným souvrstvím.
- Čelní plochy šikmých sloupů jsou navrženy ve výšce cca 0,6m nad upraveným terénem.

Chemická ochrana dřeva

Zabudované dřevo bude napuštěno širokospektrálním fungicidním a insekticidním přípravkem pro dlouhodobou preventivní ochranu dřeva v exteriérech proti plísním, dřevokazným houbám a dřevokaznému hmyzu [27]. Ochrannou vrstvu proti degradaci bude tvořit alkydovo-akrylátová vrchní barva vhodná na impregnované dřevo, odolná vůči povětrnostním vlivům [28]. Barva bude nanesena stříkáním ve dvou vrstvách, tloušťka suchého filmu v jedné vrstvě bude min. 65 μm . Případné tmelení bude provedeno epoxidovým tmelem v dekoru dřeva.

Pro třídu použitelnosti tři platí kontroly stavu ochrany ve dvouletých intervalech. Během kontrol bude provedeno lokální očištění a obnova degradovaného ochranného souvrství.

9. Antikorozní ochrana kovových částí

Ocelové plechy

Ocelové konstrukční části budou chráněny proti korozi. Plechy jsou v maximální možné míře navrženy tak, aby bylo zabráněno zatékání vody dovnitř spojů. Navržená minimální tloušťka plechů je 5mm. Snížení relativní vlhkosti je zajištěno trvalým provětráváním opláštěných částí a je zajištěn odtok vody z koutů. Zvolenou pasivní ochranou zajišťující korozní odolnost je ochranný povlak z anorganického materiálu – žárové zinkování.

- Životnost konstrukce je předpokládána 50 let.
- Korozní agresivita prostředí je stanovena dle [22] na stupeň C2 (Mírná klimatická oblast, atmosféry s nízkým znečištěním ($\text{SO}_2 < 5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), např. venkovské oblasti, malá města)
- Dle [23] je navržena běžná průměrná tloušťka povlaku min. Fe/Zn 70 μm .

Tabulka 7.3 – Tloušťka zinkové vrstvy [23]

Tloušťka plechu	Místní tloušťka povlaku	Průměrná tloušťka povlaku
> 6mm	70	85
> 3 až ≤ 6mm	55	70

- Konce koutových svarů budou propojeny, aby nevznikla dutina.
- Ostré hrany budou zaobleny o poloměru 2mm.
- Průměr otvorů musí být zvětšen o 2mm než je jmenovitý průměr šroubu.
- Opravy malých poškození povlaku žárového zinku a dodatečných svarů budou provedeny nátěrem/nástřikem s vysokým obsahem zinku o nominální tloušťce min. 100 μm .

Spojovací prostředky

Ocelové spojovací prostředky jsou navrženy s ohledem na prostředí, ve kterém jsou použity. Spojovací materiál šroubových a čepových spojů je navržen s ochranným povlakem z anorganického materiálu – žárové zinkování. Běžná průměrná tloušťka zinkového povlaku spojovacího materiálu pod M10 je cca 40 μm a pro větší než M10 včetně je cca 60 μm . Průměr otvorů v pleších musí být zvětšen o 2mm než je jmenovitý průměr šroubu.

Vruty

Vruty jsou navrženy z nerezové oceli v kvalitě vyráběné vybraným dodavatelem Rothoblaas. Vruty kotvící vnější opláštění jsou navrženy té nejvyšší antikorozi úpravy, z nerezové oceli AISI 316/A4. Důvodem je přímé namáhání hlaviček vrutů povětrnostními vlivy. Zhoršení estetických vlastností (vzhledu) fasády je nepřipustné.

Vruty kotvící vnitřní opláštění jsou navrženy vysoké mechanické odolnosti, při zachování nerezové antikorozi úpravy, z nerezové oceli AISI 410. Důvodem je namáhání hlaviček vrutů otěrem.

Samovrtné kolíky

Samovrtný kolík je certifikovaný produkt, který dovoluje rychlou a přesnou realizaci skrytých spojů. Cylindrická hlava kolíku bude zapuštěna cca 10mm pod úroveň líce dřevěného prvku, vzniklý otvor je následně zaslepen vlepenou dřevěnou záslepkou. Záslepka musí být z vysušeného dřeva identické kvality jako prvek, ve kterém se nachází. Lepidlo je totožné s lepidlem při výrobě prvku. Povrch se ohobluje a opatří ochranným souvrstvím. Takto vzniklý spoj je odolný jak proti korozi, tak proti účinkům požáru.

Kolíkové spoje (pokud se nejedná o montážní spoj) jsou provedeny v truhlářské dílně na základě výrobní dokumentace (Není předmětem řešení této diplomové práce.). Dílenskou (výrobní) dokumentaci standardně vypracovává dodavatel stavby.

Závěr

Z rešerše historických konstrukcí dřevěných sil vyplývá rozsáhlost problematiky skladování v těchto zařízeních. Zapomenuté konstrukce pořád lokálně existují jako památky do doby minulé. Publikace, z nichž bylo čerpáno [29;30;31], jsou stavebního zaměření, avšak autoři těchto publikací jsou (byli) odborníky v oboru zemědělského inženýrství. Informace v nich obsažené nejsou zcela všeobecné, ale zaměřují se na regiony, v nichž byly publikovány.

V porovnání s moderními konstrukčními systémy je využití historických konstrukcí dřevěných sil nanejvýš sporné.

Cílem diplomové práce byl návrh konstrukce dřevěného sila na dřevní pelety zatížený podle ČSN EN 1991-4 - Eurokód 1 Zatížení konstrukcí – Část 4: Zatížení zásobníků a nádrží. Autor navrhl vlastní konstrukci na základně informací ze shromážděných publikací, především *“Diagnostiky dřevěného zásobníku posypové soli”*, kterou vypracoval Kloknerův ústav v roce 2014 pro SUDOP PRAHA, a.s.

Navržené silo je dispozičně rozděleno do několika částí: založení, podstava, tělo zásobníku, výsypka a zastřešení. Základní části jsou dále rozděleny na jednotlivé základní prvky a spoje, které jsou navrženy a posouzeny.

Lineární statická analýza byla provedena na 3D prutovém modelu za použití softwaru Scia Engineer. Vstup tvořily zatěžovací modely. Výstupem byly vnitřní síly pro každý jednotlivý zatěžovací model: vlastní tíha, tíha náplně, kombinace sněhu na střechu, kombinace větru na střechu, vítr na fasádu, kombinace plnění a kombinace prázdnění. Výsledné vnitřní síly byly kombinovány ručně pro každý prvek zvlášť.

Ve fázi přípravy návrhu dispozice a dílčích částí autor vypracoval 3D model navrhované konstrukce v softwaru Garphisoft ArchiCad. Výstupem je výkresová dokumentace a vizualizace v rozsahu studie proveditelnosti. Na závěr práce byla vytvořena výkresová dokumentace navržených spojů.

Seznam obrázků a tabulek

Seznam obrázků

Obrázek 2.1 – Roubené silo [b]	~ 3 ~
Obrázek 2.2.a – Konstrukce štenýřového sila [35]	~ 4 ~
Obrázek 2.2.b – Štenýřová výsypka [c]	~ 5 ~
Obrázek 2.3 – Konstrukce rámového sila [35]	~ 6 ~
Obrázek 2.4.a – Porucha dvouplášťového sila [d]	~ 7 ~
Obrázek 2.4.b – Konstrukce dvouplášťového sila [35]	~ 7 ~
Obrázek 2.5.a – Konstrukce sudu [e]	~ 8 ~
Obrázek 2.5.b – Silo s podstavou [38]	~ 8 ~
Obrázek 2.5.c – prstencový nosník [38]	~ 9 ~
Obrázek 2.5.d – Uvolněné obruče [38]	~ 10 ~
Obrázek 2.7 – Konstrukce sila na sůl [f]	~ 11 ~
Obrázek 3.1 – Pohled na základové konstrukce [a]	~ 12 ~
Obrázek 3.2 – Pohled na nadbetonávku [a]	~ 13 ~
Obrázek 3.3.a – Podstava	~ 14 ~
Obrázek 3.3.b – Vzpěry a táhlo [a]	~ 15 ~
Obrázek 3.3.c – Ocelová skruž [a]	~ 15 ~
Obrázek 3.3.d – Dřevěná skruž [a]	~ 16 ~
Obrázek 3.4.a – Tělo zásobníku [a]	~ 17 ~
Obrázek 3.4.b – Složené segmenty prstence [a]	~ 17 ~
Obrázek 3.4.c – Detail spony [a]	~ 18 ~
Obrázek 3.5 – Prkno vnějšího pláště [37]	~ 18 ~
Obrázek 3.6 – Detail výsypky [a]	~ 19 ~
Obrázek 3.7.a – Krov [a]	~ 20 ~
Obrázek 3.7.b – Vazný věnec [a]	~ 20 ~
Obrázek 5.5 – Dřevní pelety [48]	~ 36 ~
Obrázek 6.1.1 – Sloup podstavy [a]	~ 41 ~
Obrázek 6.1.2 – Vzpěra podstavy [a]	~ 45 ~
Obrázek 6.1.3 – Táhlo podstavy [a]	~ 48 ~
Obrázek 6.2.1.a – Prkno vnějšího pláště [44]	~ 51 ~
Obrázek 6.2.1.b – Vnější plášť - vnitřní síly	~ 52 ~

Obrázek 6.3.1 – Žebro výsypky [a]	~ 62 ~
Obrázek 6.3.2 –Spojka žeber [a]	~ 67 ~
Obrázek 6.3.3 – Plášť z desek CLT [42]	~ 68 ~
Obrázek 6.4.1 – Krokev zastřešení [a]	~ 71 ~
Obrázek 6.4.2 – Vazný věnec [a]	~ 76 ~
Obrázek 6.4.3 – Záklop z desek CLT [46]	~ 80 ~
Obrázek 6.5.1 – Základová patka [a]	~ 83 ~
Obrázek 7.1.1 – Uložení šikmého sloupu na ŽB patku [a]	~ 90 ~
Obrázek 7.1.2 – Uložení šikmého sloupu na ocelovou skruž [a]	~ 103 ~
Obrázek 7.1.3 – Připojení vzpěr a táhel na skruž [a]	~ 113 ~
Obrázek 7.2.1 – Vnější plášť [a]	~ 123 ~
Obrázek 7.3.1 – Osedlání [a]	~ 133 ~

Seznam tabulek

Tabulka 4.1 – Materiálové charakteristiky dřeva [20;23]	~ 25 ~
Tabulka 4.2 – Materiálové charakteristiky CLT panelů [43;44]	~ 26 ~
Tabulka 4.3 – Charakteristiky ocelových plechů [17]	~ 27 ~
Tabulka 4.4 – Charakteristiky betonů [20;42]	~ 27 ~
Tabulka 4.5 – Charakteristiky betonářské oceli [20;42]	~ 27 ~
Tabulka 4.6 – Charakteristiky kolíků [41]	~ 28 ~
Tabulka 4.7.a – Charakteristika vrutů ROTHOBLAAS SCI [41]	~ 29 ~
Tabulka 4.7.b – Charakteristika vrutu ROTHOBLAAS KKF [41]	~ 29 ~
Tabulka 5.3.4 – Tlak větru na povrch zásobníku	~ 36 ~
Tabulka 5.5.a – Tlak na stěny zásobníku	~ 40 ~
Tabulka 5.5.b – Tlak na výsypku	~ 41 ~
Tabulka 6.1.1 – Sloup podstavy - vnitřní síly	~ 42 ~
Tabulka 6.1.2 – Vzpěra podstavy - vnitřní síly	~ 46 ~
Tabulka 6.1.3 – Táhlo podstavy - vnitřní síly	~ 49 ~
Tabulka 6.2.1 – Vnější plášť - vnitřní síly	~ 55 ~
Tabulka 6.2.2 – Vnitřní plášť - vnitřní síly	~ 57 ~
Tabulka 6.2.3 – Sloupek zásobníku - vnitřní síly	~ 58 ~
Tabulka 6.2.4 – Prstenec zásobníku - vnitřní síly	~ 61 ~
Tabulka 6.3.1 – Žebro výsypky - vnitřní síly	~ 64 ~
Tabulka 6.3.2 – Prstencová spojka žeber - vnitřní síly	~ 69 ~
Tabulka 6.3.3 – Vnitřní plášť výsypky - vnitřní síly	~ 70 ~
Tabulka 6.4.1 – Krokev - vnitřní síly	~ 74 ~
Tabulka 6.4.2 – Vazní věnec - vnitřní síly	~ 78 ~
Tabulka 6.4.3 – Záklop střechy - vnitřní síly	~ 83 ~
Tabulka 6.5.1 – Posouzení smykové odolnosti patky	~ 87 ~
Tabulka 7.1.1 – Pata šikmého sloupu - vnitřní síly	~ 90 ~
Tabulka 7.1.2 – Hlava šikmého sloupu - vnitřní síly	~ 103 ~
Tabulka 7.1.3 – Přip. vzp. a táh. na šik. sloup a skruž - vnitřní síly	~ 113 ~
Tabulka 7.3 – Tloušťka zinkové vrstvy [39]	~ 141 ~

Seznam použitých pramenů

Literatura

- [1] *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, STEP 1: navrhování a konstrukční materiály.* Přeložil B. KOŽELOUH. Zlín: KODR, 1998. ISBN 80-238-2620-4.
- [2] *Dřevěné konstrukce podle Eurokódu 5, STEP 2: navrhování detailů a nosných systémů.* Přeložil Bohumil KOŽELOUH. Praha: ČKAIT, c2004. ISBN 80-86 769-13-5.
- [3] KRÄMER, Volker. *Dřevěné konstrukce: příklady a řešení podle ČSN 73 1702.* Přeložil Bohumil KOŽELOUH. Praha: ČKAIT, 2011. ISBN 978-80-874-38-16-9.
- [4] BLAß, Hans Joachim. *Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí: obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby.* Přeložil Bohumil KOŽELOUH. Praha: ČKAIT, 2008. ISBN 978-80-87093-73-3.
- [5] TICHÝ, Milík. *Zatížení stavebních konstrukcí.* Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1987.
- [6] KRÁL, Jaromír. *Navrhování konstrukcí na zatížení větrem: příručka k ČSN EN 1991-1-4.* Praha: ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87438-05-3.
- [7] KUKLÍK, Petr a Anna KUKLÍKOVÁ. *Navrhování dřevěných konstrukcí: příručka k ČSN EN 1995-1.* Praha: ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87093-88-7.
- [8] HOLICKÝ, Milan, Jana MARKOVÁ a Miroslav SÝKORA. *Zatížení stavebních konstrukcí: příručka k ČSN EN 1991.* Praha: ČKAIT, 2010. ISBN 978-80-87093-89-4.
- [9] MANFRED, Gerner. *Tesařské spoje.* přeloženo z německého originálu *Handwerkliche Holzverbindungen des Zimmerer.* 1. vyd. Praha : Grada, 2003. 220 s. ISBN 80-247-0076-X

Normy

- [10] ČSN EN 1995-1-1: (Eurokód 5)
Navrhování dřevěných konstrukcí. Část 1-1: obecná pravidla – Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby,
Praha, ČNI 2006
- [11] ČSN 73 1702: *Navrhování, výpočet a posuzování dřevěných stavebních konstrukcí – Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby,*
Praha, ČNI 2007
- [12] ČSN EN 1990 ed. 2 (Eurokód 0)
Zásady navrhování konstrukcí,
Praha, ČNI 2015
- [13] ČSN EN 1991-1-1 (Eurokód 1)
Zatížení konstrukcí – Část 1-1: obecná zatížení – objemové tíhy, vlastní tíha a užitná zatížení pozemních staveb,
Praha, ČNI 2004
- [14] ČSN EN 1991-1-3 ed. 2 (Eurokód 1)
Zatížení konstrukcí - Část 1-3: Obecná zatížení - Zatížení sněhem,
Praha, ČNI 2013
- [15] ČSN EN 1991-1-4 ed. 2 (Eurokód 1)
Zatížení konstrukcí - Část 1-4: Obecná zatížení - Zatížení větrem,
Praha, ČNI 2013
- [16] ČSN EN 1991-4 ed. 2 (Eurokód 1)
Zatížení konstrukcí - Část 4: Zatížení zásobníků a nádrží,
Praha, ČNI 2013
- [17] ČSN EN 1993-1-1 ed. 2 (Eurokód 3)
Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
Praha, ČNI 2011

- [18] ČSN EN 1993-4-1 ed. 2 (Eurokód 3)
Navrhování ocelových konstrukcí - Část 4-1: Zásobníky,
Praha, ČNI 2013
- [19] ČSN EN 1993-1-8 (Eurokód 3)
Navrhování ocelových konstrukcí – Část 1-8: Navrhování ocelových konstrukcí – navrhování styčníků,
Praha, ČNI 2006
- [20] ČSN EN 1992-1-1 (Eurokód 2)
Navrhování betonových konstrukcí – Část 1-1: Obecná pravidla a pravidla pro pozemní stavby,
Praha, ČNI 2011
- [21] ČSN EN 1194
Dřevěné konstrukce - Lepené lamelové dřevo – Třídy pevnosti a stanovení charakteristických hodnot,
Praha, ČNI 1999
- [22] ČSN ISO 9223
Koroze kovů a slitin – korozivní agresivita atmosfér – Klasifikace
Praha, ČNI 1994
- [23] ČSN ISO 1461
Žárové povlaky zinku nanášené ponorem na železných a ocelových výrobcích – Specifikace a zkušební metody
Praha, ČNI 1999
- [24] ČSN EN 338
Konstrukční dřevo - Třídy pevnosti,
Praha, ČNI 2010
- [25] NEOBSAZENO

Internetové zdroje

- [26] Odkaz na internetové stránky nápovědy SCIA Engineer [online]
Dostupné z: <http://www.scia-online.cz/>
- [27] Odkaz na internetové stránky mapy zatížení sněhem na zemi [online]
Dostupné z: <http://www.snehovamapa.cz/>
- [28] Odkaz na internetové stránky systému konstrukčních táhel [online]
Dostupné z: <http://www.tension.cz/produkty/tahla-macalloy>
- [29] Odkaz na internetové stránky mapových podkladů [online]
Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=17.5638334&y=49.8909207&z=20&base=ophoto>
- [30] Odkaz na internetové stránky systému ochrany dřeva [online]
Dostupné z: <http://www.bochemie.cz/>
- [31] Odkaz na internetové stránky systému ochrany dřeva [online]
Dostupné z: <http://www.finnproduct.cz/>
- [32] Odkaz na internetové stránky definice slova „stave“ [online]
Dostupné z: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/stave>
- [33] Odkaz na internetové stránky definice slova „silo“ [online]
Dostupné z: <https://en.oxforddictionaries.com/definition/silo>
- [34] Odkaz na internetové stránky etymologie slova „silo“ [online]
Dostupné z: <http://www.etymonline.com/index.php?term=silo>
<https://en.wikipedia.org/wiki/Silo>
- [35] Odkaz na internetové stránky patentu [online]
Dostupné z: [http: https://google.com/patents/EP0896114A1?cl=da](http://https://google.com/patents/EP0896114A1?cl=da)
- [36] *NEOBSAZENO*

Publikace

- [37] TEMTIS- Příručka 1,2 – Vzdělávací materiály pro navrhování a zkoušení dřevěných konstrukcí, <http://fast10.vsb.cz/temtis/cz>, 2008.
- [38] HRABÁNEK, Milan aj. *Diagnostika dřevěného zásobníku posypové soli*. Expertní zpráva ČVUT v Praze, Kloknerův ústav, 2014.
- [39] BEEDLE, Peggy Lee. *Silos: an agricultural success story*. University of Wisconsin-Extension: 2001, G3660-4.
- [40] KUNZ, Ludvík, *Obilní jámy (Grain pits). Konzervace obilí na dlouhý čas v historické zóně eurosibiřského a mediteránního rolnictví*. Rožnov pod Radhoštěm 2004. ISBN 80-239-2816-3
- [41] THE E. W. ROSS CO. *Ensilage And Silos: A Book of Practical Information*. Springfield, Ohio, U.S.A.: The Winters Print. Springfield (Ohio), 1890. Zdroj originálu: University of Wisconsin–Madison
- [42] ERIKSSON, Hans a Annikki HIRNOVÁ. *Příručka žárového zinkování*. 5. přepracované vydání, Ostrava, Asociace českých a slovenských zinkoven, 2011. Dostupná na:
<http://zarova-zinkovna.mea.cz/cz/stranka/zarove-zinkovani-9/>
- [43] ŠIMŮNKOVÁ, Eva a Irena KUČEROVÁ. *Dřevo*. Praha: Společnost pro technologie ochrany památek - STOP, 2000. ISBN 80-902668-4-3.
- [44] ROTHOBLAAS. *Vruty do dřeva*. Copyright © 2014 by rothoblaas
Katalog je dostupný na: www.rothoblaas.com
- [45] ČESKOMORAVSKÝ CEMENT, a.s. *Příručka technologa BETON – Suroviny, výroba, vlastnosti*. 1. vydání, 2010
Příručka je dostupná na: <http://www.heidelbergcement.cz/cs>
- [46] NOVATOP. *NOVATOP SOLID – pro stěny – Technická dokumentace*
Copyright © AGROP NOVA a.s., 2015
Katalog je dostupný na: <http://www.novatop-system.cz/>

- [47] NOVATOP. *NOVATOP STATIC – pro předsazené střechy – Technická dokumentace*. Copyright © AGROP NOVA a.s., 2015
Katalog je dostupný na: <http://www.novatop-system.cz/>
- [48] Laboratorní výsledky měření pelet z energetické traviny ovsíku vyvýšeného byly poskytnuty pro účely této diplomové práce Ing. Lucií Jezerskou, Ph.D. z VŠB–TUO, Centra energetických jednotek pro využití netradičních zdrojů energie.
- [49] *NEOBSAZENO*

Internetové zdroje obrázků

- [a] Vlastní tvorba
- [b] <https://readreidread.wordpress.com/2011/05/27/manitoba-heritage-building-octagonal-wooden-silo/>
- [c] <http://vodnimlyny.cz/mlyny/mlyn/500-drevicek>
- [d] http://iowabarnfoundation.org/tours/netour_picnic.htm
- [e] http://www.barriqueart.cz/wp-content/uploads/2016/04/admin_obrazky-full.bin-3.jpg
- [f] <http://www.blumer-lehmann.ch/en/silo-and-system-construction/wooden-silos/overview/>
- [g] *NEOBSAZENO*

Seznam příloh

Studie proveditelnosti

S01 – SITUACE KOORDINAČNÍ	A3	1:1000
S02 – SVISLÉ ŘEZY A - A' a B - B'	A3	1:100
S03 – POHLEDY - NOSNÁ KONSTRUKCE	A3	1:100
S04 – POHLEDY - VNĚJŠÍ PLÁŠŤ	A3	1:100
S05 – VODOROVNÝ ŘEZ C - C'	A3	1:50
S06 – VODOROVNÝ ŘEZ D - D'	A3	1:50
S07 – VODOROVNÝ ŘEZ E - E'	A3	1:50
S08 – VODOROVNÝ ŘEZ F - F'	A3	1:50
S09 – VIZUALIZACE	11×A4	

Dokumentace navržených konstrukcí a spojů

D01 – ŽELEZOBETONOVÁ PATKA	A3	1:25
D02 – PŘÍPOJ SLOUP – PATKA	A3	1:10
D03 – PŘÍPOJ SLOUP – SKRUŽ	A3	1:10
D04 – PŘÍPOJ VZPĚRA – SKRUŽ	A3	1:10
D05 – TYPOVÉ ULOŽENÍ KROKVE	A3	1:25
D06 – PŘÍPOJ VNITŘNÍHO PLÁŠTĚ	A4	1:10
D07 – PŘÍPOJ VNĚJŠÍHO PLÁŠTĚ	A4	1:10
D08 – PŘÍPOJ ZÁKLOPU STŘECHY	A4	1:10

Použitý programový software

Scia Engineer 2015 – Výpočetní software pro statické výpočty

(Verze 14, 15.1, 15.2)

ArchiCAD 18 – 3D Grafický software pro tvorbu projektové dokumentace

AutoCAD LT 2015 – 2D Grafický software pro tvorbu p. dokumentace

MS Excel 2010 Tabulkový procesor

MS Word 2010 Textový editor